

Digitale tool voor het ontwerpen van glasconstructies in het Bouwkunde onderwijs

*Verslag van een
afstudeeronderzoek Bouwtechnologie*

Inhoudsopgave

Voorwoord	v
1. Inleiding	1
Probleemverkenning	1
ICT	3
Doelstelling	5
Werkwijze en leeswijzer	5
2. Opzet van het onderzoek	7
Context	7
Verantwoording onderzoeksoptiek	7
Begrenzingsen	8
Toepassingskader	8
Strategie en methoden	8
3. De uitdaging van glas	9
Draagconstructie	9
Constructieve elementen in glas	10
Scheidende elementen in glas	10
Verbindingen	11
Relatie tot de digitale tool	12
4. Inbedding in het onderwijs	13
Doelgroep	13
Ontwerpopgave	14
Leerdoelen	14
Producten	15
Beoordelingscriteria	15
5. Programma van eisen voor de Tool	17
Varianten	18
Proces	19
6. Conceptueel ontwerp van de Tool	21
Stroomschema	21
Versies / varianten	21
Stappen	22
Rapportage	23
Producten	23
7. Interface ontwerp	25
Inleiding	25

Overzicht	25
Overkoepelend: versies	28
“Program Volumes”	30
“Grid”	31
“Construction”	33
“Elements”	34
“Assessment”	35
Verantwoording	36
Ontwikkelingen	36
8. Onder de motorkap	37
Area-controlled volume	37
Dimensions	37
Snap tools	37
Script jobs	38
Datastructuur	38
9. Ontwikkeling van de Tool	39
Domain driven design en eXtreme Programming	39
Complexiteit	40
Design by prototyping	40
Procedureel vs. object georiënteerd	41
10. Prototype van de tool	43
Functionaliteit van het prototype	43
Realisatie van het prototype	44
Bijdrage van ICT	49
11. Conclusies	51
12. Aanbevelingen	55
Referenties	57
Bijlagen	59
Bijlage A: Broncode van het prototype	59

Voorwoord

Bij vooruitstrevend materiaalgebruik in het bouwkundig ontwerp en bij het steeds belangrijker worden van efficiëntie en prestaties van bouwkundige ontwerpen op vele vlakken (denk aan duurzaamheid, technische eisen, etc.) hoort een vooruitstrevend en effectief ontwerpproces. Op dat punt blijkt dat studenten tijdens hun opleiding vaak onvoldoende bewust omgaan met het inrichten van het ontwerpproces en het kiezen van een bepaalde methodiek.

In dat brede kader speelt mijn afstudeeronderzoek zich af. Ik heb een ontwerp en een prototype gemaakt voor een digitale tool die ingezet wordt aan de beginfase van het ontwerpproces. Deze tool wordt ingebed in (een voorstel voor) een oefening binnen het onderwijscurriculum.

De opzet voor dit onderzoek is voortgekomen uit de ervaringen van mijn eerste mentor in het bouwkunde onderwijs en mijn eigen achtergrond in de ICT. Tijdens mijn studie heb ik een brede interesse ontwikkeld voor ICT en in het bijzonder voor de mogelijkheden die het biedt voor het ontwerpen en het bouwkunde onderwijs.

Mijn interesse voor ICT was al aanwezig voor mijn studie, maar heeft zich zoals gezegd vooral tijdens mijn studie verder ontwikkeld. Zozeer zelfs dat mij wel eens gevraagd wordt of ik niet beter informatica zou kunnen studeren. Mijn antwoord daarop is een volmondig nee. De waarde van ICT ligt voor mij juist in het raakvlak tussen de informatica en het toepassingsdomein. Ik zou nooit fulltime kunnen programmeren als aangenomen werk, maar ik kan aan de andere kant ook niet stilzitten als ik een probleem signaleer waarvan ik vermoed dat het met een tooltje hier of wat scripting daar opgelost kan worden.

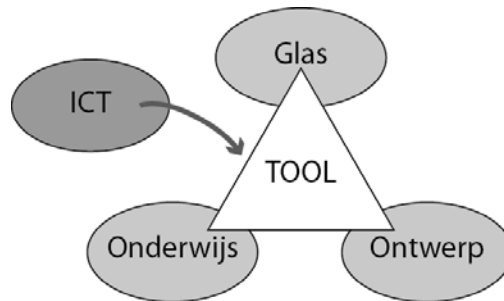
Mijn mentorenteam bestaat uit:

Eerste mentor: Dr. ir. F.A. Veer (Krachtswerking in Gebouwen, TU Delft)

Tweede mentor: Dr. Ir. R.M.F. Stouffs (Technisch Ontwerp en Informatica, TU Delft)
voorafgegaan door:
Ir. E.J. Janssen Groesbeek (Technisch Ontwerp en Informatica, TU Delft)

1. Inleiding

Mijn afstudeerproject speelt zich af op de raakvlakken tussen drie thema's: glas als constructief materiaal, het maken van bouwkundige ontwerpen en het (Bouwkunde-) onderwijs. Het geheel wordt overkoepeld door de toepassing van ICT als voornaamste hulpmiddel.



Figuur 1 De tool binnen vier thema's

Met glas als constructief materiaal bedoel ik hier bouwkundige ontwerpen waarin glas het voornaamste constructiemateriaal is. Een relatief nieuw vakgebied waar onderzoek naar wordt gedaan aan de faculteit Bouwkunde van de TU Delft. Zoals in deze scriptie zal blijken, heeft dat vergaande consequenties voor het ontwerpproces.

Het ontwerpen staat centraal bij de opleiding Bouwkunde, dus het is niet vreemd dat het ook in mijn onderzoek een belangrijke rol speelt. Het is een deelonderwerp van dit onderzoek, maar de tool die ik ontwikkeld heb als een van de producten van mijn onderzoek is in zichzelf ook een ontwerp en de ontwikkeling ervan dus ook een ontwerpproces.

De relatie met het onderwijs is tweeledig. Allereerst is het onderwijs het toepassingsveld van de tool die ik gemaakt heb. Daarnaast vormt het een belangrijke aanleiding voor dit project. In de probleemverkenning beschrijf ik hoe waarnemingen in het huidige bouwkundeonderwijs hebben geleid tot het idee voor de tool waaraan ik gewerkt heb.

Over ICT ga ik nu niet al te zeer uitwijden. Het is voor mij een belangrijk en zeer interessant middel. Het vormt de spil van mijn onderzoek. Het product van mijn afstudeerproject is een prototype van een digitale tool om glasconstructies mee te kunnen ontwerpen.

Deze drie, of eigenlijk vier thema's, omdat je de ICT een overkoepelend thema kunt noemen, gaan samen in mijn onderzoek. Hoe precies? Dat zal ik in de overige hoofdstukken gaandeweg uit de doeken doen.

Probleemverkenning

Het toepassen van glas als constructief materiaal stelt een flink aantal bijzondere, specifieke en belangrijke eisen aan het ontwerp (F. Bos, Veer, Hobbelman et al. 2005). Er moet met tal van zaken rekening gehouden worden om ervoor te zorgen dat een ontwerp veilig en uitvoerbaar is. In het hoofdstuk "De uitdaging van glas" ga ik hier dieper op in.

De kwaliteit van het uiteindelijke ontwerp wordt in belangrijke mate bepaald door de mate waarin de diverse aspecten, dus ook de technische, verenigd zijn. Daarbij moet de ontwerper veelal keuzes

maken tussen conflicterende overwegingen. Zelfs voor eenvoudige ontwerpen kan dat al een flink oerwoud worden en wordt er veel van de ontwerper gevraagd om hier overzicht over te houden en keuzes goed te funderen (M Ashby 2005, pp.11-19).

Naarmate keuzes verder vooruitgeschoven of zelfs vermeden worden, neemt de kans toe dat de kwaliteit van het definitieve ontwerp lager uitvalt. Dit kan uiteindelijk leiden tot hogere kosten of een kwalitatief lager eindresultaat (of beide). Bij gebruik van glas als constructief materiaal kan dat zelfs betekenen dat een ontwerp niet realiseerbaar is, of in elk geval sterk afwijkt van de voorgestelde vorm of het gewenste beeld.

Dit geldt overigens niet alleen en specifiek voor glas. Hetzelfde principe is over de gehele breedte van bouwkundige ontwerpen geldig. Niet zelden moet een ontwerper 'inleveren' omdat er voornamelijk vanuit het beeld ontworpen is en er te weinig aandacht is geweest voor technische aspecten.

Het is dus van groot belang dat bouwkundig ontwerpers tijdens hun opleiding voldoende kennis en ervaring opdoen met verschillende methodieken om een ontwerp te kunnen maken met een goede balans tussen beeld/vorm en prestaties (de technische aspecten) en het belang inzien om dit al vanaf de eerste fase van het ontwerpproces, de schetsontwerpfase (SO) toe te passen.

Om naar goede oplossingen te zoeken in de SO-fase moet de ontwerper veel varianten onderzoeken en vergelijken, want dan alleen kan de 'beste' oplossing gevonden worden. Dit kan behoorlijk arbeidsintensief zijn, zeker als hij daarvoor veel informatie moet raadplegen omdat er veel opties zijn en de varianten ook 'doorgerekend' moeten worden om te kijken of ze aan de eisen voldoen (Michael F. Ashby & Johnson 2009, pp.32-35).

Het blijkt dat studenten bouwtechnische aspecten vaak onderbelicht of zelfs achterwege laten tijdens het ontwerpproces¹. Dit heeft een aantal oorzaken:

- 1) De vereiste bouwtechnische kennis ontbreekt. Het vooraf eigen maken van die specifieke kennis stuit op diverse bezwaren en problemen:
 - Het totale speelveld is te groot en te complex.
 - Het totaal aan 'informatiestromen' is ook nog erg groot en complex. De informatiestromen moeten beheerst kunnen worden.
 - Ontwerpers werken veelal in eerste instantie vanuit 'vorm': een (eenzijdige) architectonische benadering waarin bouwtechnologische aspecten nog niet in beeld zijn.
- 2) Studenten ervaren het afkeuren van varianten en daarmee ook het, op technische aspecten, onderzoeken van varianten vaak als 'zonde van de tijd'. Dit leidt er toe dat er niet of nauwelijks variantenonderzoek op technische aspecten plaatsvindt en dat leidt tot een lage(re) diversiteit.
- 3) Studenten zijn onvoldoende bekend met ontwerpmethodieken waarin bouwtechnische aspecten een integraal onderdeel vormen van het ontwerpproces.
- 4) Ontwerpdocenten beschikken niet altijd over de benodigde technische kennis om de studenten op alle technische aspecten voldoende te kunnen begeleiden of te beoordelen.

¹ Dit is gebleken uit de ervaringen van Dr. Ir. F.A. Veer in het Bouwkunde onderwijs aan de TU Delft en uit mijn eigen ervaringen als student-assistent.

Een goede integratie van de disciplines in het totale ontwerpproces vereist dus een goede ontwerpmethodiek en basiskennis van de verschillende disciplines.

Het is daarom van groot belang dat de ontwerper voldoende kennis heeft van de beschikbare methodieken, maar ook de ervaring heeft om een juiste methodiek te kiezen. Met de juiste kennis en ervaring mag verwacht worden dat een academisch ontwerper waarnodig bestaande methodieken aan kan passen en in staat is te herkennen wanneer dat nodig is (Meijers 2005).

Daarnaast moet de ontwerper over voldoende kennis beschikken om een duidelijk overzicht te hebben van het speelveld van een discipline. Hij moet problemen kunnen herkennen en in kunnen schatten wanneer hulp nodig is en dit vervolgens naadloos kunnen integreren in het ontwerp(proces). Deze hulp kan bestaan uit specifieke 'tools', bijvoorbeeld een computerapplicatie, of uit het inroepen van de hulp van een specialist.

Het probleem dat hier beschreven wordt zowel veroorzaakt door onvoldoende kennis van en ervaring met diverse ontwerpmethodieken, als het ontbreken van bouwtechnologische basiskennis.

Er zijn verschillende oplossingen denkbaar om een oplossing te vinden voor dit probleem. In dit onderzoek richt ik me op het ontwikkelen van een didactisch hulpmiddel voor studenten. Ik richt me daarbij op studenten vanaf het derde studiejaar (rond het 5^e bachelor semester). Zij hebben inmiddels enige ervaring en kennis opgedaan met het maken van bouwkundige ontwerpen in de ontwerpprojecten van de voorgaande vier semesters en beschikken over een geschikte basis aan technische kennis, waardoor ze in staat zijn om aangereikte specifieke technische kennis te kunnen plaatsen en benutten.

Het toepassingsgebied is zoals al eerder genoemd het gebruik van glas als constructief materiaal. Dit heeft veel beperkingen is daarom erg geschikt bij toepassing in het onderwijs. Het is studenten goed duidelijk te maken waarom het belangrijk is dat er al vanaf de schetsontwerpfase rekening gehouden wordt met de specifieke bouwtechnische aspecten. Het biedt daarnaast ook een redelijk afgebakend toepassingsgebied met een beperkt aantal mogelijkheden voor bijvoorbeeld vormen en draagconstructieprincipes. Hierover zoals gezegd meer in hoofdstuk 3.

Een prototype van een dergelijke tool kan naar mijn opvatting het meest succesvol ontworpen worden met behulp van ICT.

ICT

Mijn keuze voor het ontwikkelen van een ICT tool (prototype) heeft een aantal aspecten die in het licht van dit onderzoek interessant zijn:

ICT biedt zeer uitgebreide mogelijkheden om grote en complexe informatiestromen beheersbaar te maken. Met de druk op de knop kan een enorme hoeveelheid informatie geraadpleegd worden die tegelijkertijd dynamisch gefilterd kan worden, zodat de gebruiker alleen geconfronteerd wordt met relevante informatie. Op basis daarvan kan hij ontwerpbeslissingen nemen. Het deelgebied binnen de (bouw)informatica waarbinnen dit past wordt aangeduid met Computational Decision Support.

De computer kan de gebruiker werk uit handen nemen door (eenvoudige) taken te automatiseren. Dezelfde handeling die vele malen achter elkaar moet worden verricht kan hierdoor in een fractie van de tijd gedaan worden en vaak ook nog nauwkeuriger en zonder fouten. Hierdoor kan de gebruiker zich richten op de belangrijke taken: het maken van keuzes en het analyseren van het resultaat. Dit is vooral nuttig bij het onderzoeken van varianten, omdat het de mogelijkheid geeft om veel sneller varianten te genereren en daardoor te onderzoeken. Hierdoor ontstaat er ruimte om

het aantal varianten te vergroten of om er meer aspecten bij te betrekken en een gedetailleerdere variantenstudie te kunnen doen (lees: meer bouwtechnische aspecten te betrekken). Daarnaast werkt het motiverend als het maken van varianten vlot en efficiënt gaat, waardoor de kans ook groter is dat een gebruiker een degelijke variantenstudie ook daadwerkelijk uitvoert.

Daarnaast biedt ICT de mogelijkheid om een ontwerp direct in 3D te ontwikkelen en er snel een gedetailleerd beeld ontstaat van de ruimtelijke kwaliteit en materiaaleigenschappen van het ontwerp. Traditioneel wordt er nog veel vanuit de plattegrond ontworpen. Bij ontwerpen waar glas wordt toegepast als constructiemateriaal is het zeer waardevol om (vrijwel) direct feedback te krijgen op de ruimtelijke aspecten en materiaaleigenschappen (voornamelijk de transparantie van glas).

Software kan direct verificaties uitvoeren en de gebruiker voorzien van terugkoppeling. Hierdoor ziet de gebruiker meteen wat het resultaat is van een ontwerpkeuze en kan er een snelle, relatief korte ontwikkelingscyclus gemaakt worden. Doordat dit sneller kan dan als er bijvoorbeeld met de hand zaken doorgerekend moeten worden, kan het aantal iteraties in het onderzoek vergroot worden.

Een applicatie kan laagdrempelig gemaakt worden door waarnodig de gebruiker te ondersteunen met aanvullende informatie. Het is dus niet nodig dat een student over zeer uitgebreide voorkennis beschikt.

Door een ontwerpproces in de computer plaats te laten vinden, of in elk geval het volledige proces daarin vast te leggen, zijn er goede mogelijkheden om het proces op specifieke punten te sturen. Didactisch gezien biedt dat interessante mogelijkheden. Ik ben me er van bewust ik hiermee aan een teer punt voor veel ontwerpers kom en dat sturing in het “creatieve proces” een taboe is. Maar vanuit didactische overwegingen is het wel degelijk interessant en zeker geen taboe. Volgens mij is het noodzakelijk voor het opleiden van goede ontwerpers.

ICT biedt dus een aantal interessante mogelijkheden voor mijn onderzoek. Voordat ik ertoe over ben gegaan om zelf een tool te programmeren, heb ik gekeken naar wat bestaande software kan betekenen voor mijn onderzoek.

Een probleem bij veel bestaande applicaties die ingezet kunnen worden voor het integreren van technische aspecten in het ontwerpproces is dat ze vaak veel te uitgebreid of complex zijn en doorgaans vooral gericht zijn op de latere stadia van het ontwerpproces. Hierdoor is het vaak nodig om je eerst flink te verdiepen in de applicatie voordat je er mee aan de slag kunt. Daarnaast vereist veel specialistische software ook uitgebreide kennis van het domein om de resultaten te kunnen interpreteren en te verwerken in het ontwerpproces. Je moet in staat zijn om uitkomsten kritisch te kunnen beoordelen. Deze applicaties zijn doorgaans opgezet vanuit de techniek/constructeur (of erger nog: vanuit de programmeur). Een voorbeeld hiervan is “TNO Diana”.

Aan de andere kant zijn er applicaties die eenvoudig zijn te gebruiken. Deze werken echter voornamelijk vanuit de vorm. Ze missen integratie met de specifieke technische aspecten die in dit geval nodig zijn. Een voorbeeld hiervan is “Google Sketchup”.

Daarnaast is er een categorie applicaties die zich wel meer richten op integratie van technische aspecten, maar die zijn voornamelijk bedoeld voor gebruik in de implementatie- en uitvoeringsfase en niet op het begin van de ontwerpfase. Voorbeelden hiervan zijn “Dassault Systèmes CATIA” en “PTC Pro Engineer”.

Veel software is gericht op toepassing in de praktijk en niet op toepassing in het onderwijs.

Daardoor is het vaak lastig om deze software te gebruiken in een specifiek didactisch concept. Het wordt dus hoog tijd dat ik daar wat aan ga doen.

Doelstelling

Het doel van het onderzoek is het ontwikkelen van een werkend prototype van een digitale tool voor studenten om een bouwkundig ontwerp te kunnen maken waarin specifieke bouwtechnische aspecten een integraal onderdeel vormen van het ontwerpproces.

De digitale tool moet studenten in staat stellen om een driedimensionaal bouwkundig ontwerp op te kunnen bouwen in de computer. De tool wordt gebruikt in de eerste fase van het ontwerpproces: het schetsontwerp (SO).

De specifieke bouwtechnische aspecten bestaan in dit onderzoek uit het gebruik van glas als constructiemateriaal. Om bouwkundige ontwerpen te maken waarin een dergelijk, vooruitstrevend, materiaal voor de constructie gebruikt wordt, is een integrale aanpak noodzakelijk: technische aspecten moeten al vroeg in het ontwerpproces betrokken worden om een optimaal en uitvoerbaar eindresultaat te bereiken.

Het product is een werkend prototype met beperkte functionaliteit om de belangrijkste principes voor de tool te onderzoeken. De gerealiseerde functionaliteit gebruik ik om aan te tonen of een volledige tool realiseerbaar is. Dit doe ik door het prototype gedurende de ontwikkeling zelf en in een kleine kring van specialisten te testen.

Werkwijze en leeswijzer

In mijn onderzoek ben ik begonnen met het vaststellen van de contouren van een onderwijsmodule (vak) waarin de digitale tool die ik zou gaan ontwikkelen centraal staat. De hoofdlijnen komen direct voort uit de probleemverkenning en het vooronderzoek en bieden vervolgens een basis voor het vervolg van het onderzoek. Deze onderwijsmodule beschrijf ik in hoofdstuk 4.

Vervolgens heb ik een programma van eisen opgesteld voor de digitale tool. Hiervoor heb ik gegevens over de doelgroep en de vakomschrijving van de onderwijsmodule gebruikt. Deze bestaan uit een beschrijving van de doelgroep, de leerdoelen, de door de student te maken producten en de beoordelingscriteria. Het programma van eisen wordt beschreven in hoofdstuk 5.

Op basis van deze gegevens ben ik begonnen met het ontwikkelen van een concept voor de digitale tool. Dit ontwikkeltraject is feitelijk een ontwerpproces. Inhoudelijk is het anders dan het ontwerpen van een gebouw, hetgeen normaalgesproken aan de faculteit Bouwkunde gebeurt, maar het proces vertoont in grote mate gelijkenissen. Bij het ontwikkelen van het concept heb ik gebruik gemaakt van de mogelijkheden die ICT te bieden heeft, zoals ik heb beschreven in de paragraaf “ICT”. Het concept licht ik toe in hoofdstuk 6. Het ontwerp van de interface komt in hoofdstuk 7 aan bod en in hoofdstuk 8 bespreek ik enkele bijzondere aspecten van de tool aan het uiteindelijke prototype ten grondslag liggen.

Tijdens de ontwikkeling heb ik vrijwel continu tests uitgevoerd. Op die manier kon ik verschillende aanpakken en alternatieven vergelijken en verbeteren om een uiteindelijke keuze te maken. Dit is een sterk iteratief en incrementeel proces geweest met continue “feedback-lussen”. Hierin is het vergelijkbaar met een bouwkundig ontwerpproces. Het testen heb ik in dit onderzoek in eerste instantie zelf gedaan. Met enige regelmaat heb ik de resultaten ook op kleine schaal met een klankbord besproken. De uitkomsten hiervan heb ik direct in het ontwikkelingsproces verwerkt. In hoofdstuk 9 ga ik in op de ontwikkeling van de tool en enkele bijzonder aspecten uit de ICT op het

gebied van programmeermethodologie.

Aan het einde van het onderzoek heb ik de prestaties van de laatste conceptversie, het prototype van de tool geanalyseerd. Dit heb ik beschreven in hoofdstuk 9. Deze resultaten zijn samen met mijn eigen ervaringen en bevindingen tijdens het ontwerpproces tot mijn conclusies en aanbevelingen verwerkt, te vinden in hoofdstuk 11 en 12.

2. Opzet van het onderzoek

Ik heb me vanaf het begin van mijn onderzoek gericht op twee onderwerpen: het toepassingsgebied van de tool en de functionele eisen die aan de tool gesteld moeten worden.

Het toepassingsgebied is het bouwkunde onderwijs, maar dat vergt nog enige afbakening. Daar heb ik me dus in eerste instantie op gericht. De afbakening bestaat uit een keuze voor het moment in de opleiding, een doelgroep en het type oefening. Dat alles vormt uiteindelijk de basis voor het opstellen van een programma voor een onderwijsmodule waarin de tool ingezet kan worden.

Met een duidelijk beeld van hoe en waar de tool in het onderwijs ingezet wordt heb ik vervolgens het functionele kader opgesteld van de tool.

Als richtlijn hiervoor heb ik de volgende centrale vragen gesteld:

1. *Wat zijn de kenmerken van een (te ontwikkelen) onderwijsmodule in het Bouwkunde onderwijs waarbinnen de ‘tool’ toegepast zou moeten kunnen worden?*
2. *Aan welke eisen moet de tool voldoen om studenten te kunnen helpen bij het maken van ontwerpen waarbij technische kennis vroeg in het ontwerp (SO-fase) geïntegreerd wordt?*

Context

De twee voornaamste vakgebieden waar mijn onderzoek onder valt zijn informatica en materiaalkunde. Het informaticaonderwijs op de faculteit Bouwkunde wordt verzorgd door de leerstoel Technisch Ontwerp en Informatica (TOI). Mijn tweede mentor is verbonden aan deze leerstoel. Materiaalkunde valt onder de leerstoel krachtswerking in gebouwen, waaraan mijn eerste mentor is verbonden. Ook krachtswerking in bredere zin vormt een onderdeel van de context voor de tool.

Mijn eigen ervaring en kennis op het gebied van ICT vormen een belangrijke context voor dit onderzoek. Ik heb in de voorgaande jaren een aantal tools ontwikkeld die door studenten worden gebruikt in het Bouwkunde onderwijs. De “SunSim”² zonn simulator voor Maya is hier een voorbeeld van. Daarnaast ben ik student-assistent (geweest) bij TOI, waar ik de nodige ervaring heb opgedaan met ICT onderwijs bij Bouwkunde.

Verantwoording onderzoeksoptiek

Uit de probleemverkenning (hoofdstuk 1) en het toepassingsgebied heb ik het programma opgesteld voor de onderwijsmodule waarbinnen de tool ingezet moet worden. Hierbij heb ik ook geput uit de kennis en ervaring die ik bij mijn werk voor TOI heb opgedaan. Ik heb daarnaast gebruik gemaakt van de uitgave “Criteria voor Academische Bachelor en Master Curricula” (Meijers 2005) en brainstormsessies met collega’s.

Op basis hiervan heb ik vervolgens het programma van eisen voor de tool opgesteld. Daarnaast heb ik gebruik gemaakt van gesprekken met mijn hoofdmentor.

² <http://toi.bk.tudelft.nl/index.php?module=meldb&page=details&SID=40>

Begrenzungen

Ik beperk me tot een doelgroep die gevormd wordt door studenten vanaf het vierde semester van de bachelor opleiding Bouwkunde tot en met het eerste semester van de master. In het bijzonder reken ik daar ook de instroom van studenten uit het HTO toe. Deze doelgroep definieer ik nader in het volgende hoofdstuk.

Ik ontwikkel de tool voor het maken eenvoudige bouwkundige ontwerpen. Daarmee bedoel ik dat de vormvrijheid beperkt is tot rechthoekige volumes. Er is slechts een beperkte keuze in draagconstructieprincipes. Deze komen in hoofdstuk 3 aan bod.

Ik richt me op de eerste fase van het ontwerpproces: het schetsontwerp (SO) met hier en daar uitlopers naar het voorlopig ontwerp (VO).

Als basis voor de tool heb ik gekozen voor Maya, aangezien Maya ruime mogelijkheden biedt voor het maken van eigen tools in twee mogelijke programmeertalen (MEL en Python). Deze keuze is ook gebaseerd op het feit dat ik zelf ruime ervaring heb met Maya en het programmeren in MEL. Dat maakt het een voor de hand liggende keuze om MEL voor het prototype te gebruiken.

De gebruiker moet over een minimale ervaring met Maya beschikken. Reguliere studenten hebben die ervaring, omdat zij in semester twee tot en met vier les krijgen in het gebruik van Maya. De kennis die ze daarmee verkrijgen is meer dan voldoende. Instromers moeten een korte instructie krijgen om met de tool te kunnen werken.

Toepassingskader

Glas als constructief materiaal. Dit is een relatief jonge ontwikkeling waarnaar de afgelopen jaren uitgebreid onderzoek heeft plaatsgevonden aan de TU Delft. In het hoofdstuk De uitdaging van glas wordt dit vakgebied nader beschreven.

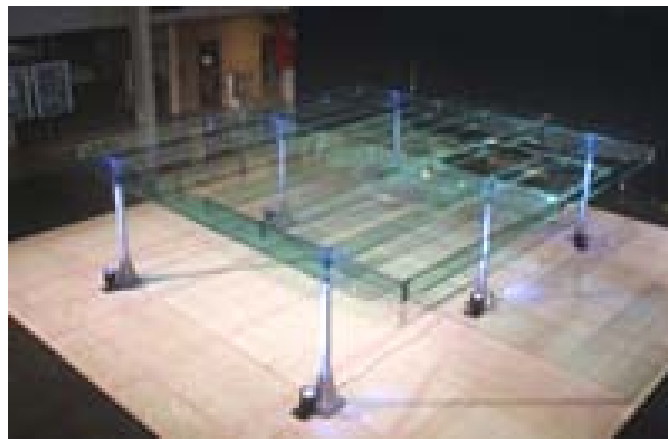
Strategie en methoden

Dit onderzoek kan het beste getypeerd worden als een enkelvoudige casestudy. Het is bovenal een ontwerpend, praktisch onderzoek en kwalificerend van aard. Het onderzoek vindt vooral plaats in de diepte. De uitkomsten zijn ook in de breedte interessant, maar dit onderzoek kent een duidelijk afgekaderd toepassingsgebied. Bij de aanbevelingen zal ik kort stilstaan bij de breedte en voorstellen doen voor een eventueel vervolgonderzoek.

3. De uitdaging van glas

Aan de leerstoel “Krachtswerking in gebouwen” van de afdeling Bouwtechnologie wordt al meerdere jaren onderzoek gedaan naar de toepassing van glas als voornaamste constructief materiaal. Toepassing van glas als dragend materiaal in gevels is al heel gewoon maar glas wordt nog niet op grote schaal toegepast als materiaal voor liggers, kolommen etc. Daar komt nu verandering in, mede door onderzoek aan de faculteit Bouwkunde.

In 2005 heb ik als student meegedaan aan een eenmalig project: “All Transparent Pavilion” (F. Bos, Veer, Hobbelman et al. 2005), (F. Bos, Veer, Romein et al. 2005). Studenten en onderzoekers hebben toen in de van het voormalige bouwkundegebouw aan de Berlageweg een volledig glazen paviljoen gebouwd op basis van de toenmalige onderzoeksresultaten. Het eindresultaat is in Figuur 2 weergegeven.



Figuur 2 "All Transparent Pavilion"

Dergelijke constructies stellen heel specifieke eisen aan het ontwerp. Deze eisen houden verband met aspecten als krachtswerking, maakbaarheid, transport en veiligheid. In de volgende paragrafen geef ik een kort overzicht van de belangrijkste aspecten en specifieke eisen die in het kader van mijn afstudeerproject van belang zijn.

Draagconstructie

De draagconstructie voor de glasconstructies bestaat uit kolommen en liggers die scharnierend met elkaar verbonden worden. Tussen de liggers zijn in de dwarsrichting gordingen aangebracht die het dak of de bovengelegen vloer dragen. Voor de stabiliteit van het geheel wordt gebruik gemaakt van schoren, of van halve koepels die samengesteld zijn uit vlakke glazen elementen.

Voor het ontwerpen van glazen constructies wordt de voorkeur gegeven aan het zoveel mogelijk werken met standaardelementen. De haalbaarheid van het totale ontwerp wordt vergroot als er gebruik gemaakt wordt van gestandaardiseerde elementen en uitzonderingen vermeden worden (van Noordenne et al. 2005).

Constructieve elementen in glas

In deze paragraaf volgt een overzicht van de verschillende constructieve elementen en een samenvatting van de belangrijkste aspecten die een rol spelen in de ontwerpkeuzes.

Liggers en gordingen

Liggers en gordingen worden samengesteld uit verlijmde stukken glas. Als de totale lengte kleiner is dan 11,5 meter, dan kunnen ze uit één stuk worden vervaardigd. Bij grotere lengtes moeten ze uit segmenten samengesteld worden. De maximale lengte bedraagt 20 meter. Deze beperking heeft te maken met transport.

De maximale hoogte bedraagt 2 meter. Een hoogte van 3 meter is ook nog mogelijk, maar dat brengt onevenredig hogere kosten met zich mee.

De dikte (breedte) van de ligger wordt bepaald door de samenstelling van de lagen. Er moeten minimaal 3 lagen zijn. Meer lagen kan, maar brengt extra verlijmingskosten met zich mee. Een enkele laag is 10 tot 15 millimeter. Glas dikker dan 15 millimeter brengt (onevenredig) hoge kosten met zich mee voor het slijpen.

Kolommen

Er zijn momenteel twee typen kolommen mogelijk: vierkante en ronde kolommen.

Vierkante kolommen worden samengesteld uit elementen die vier vlakken vormen. De maximale hoogte bedraagt 11,5 meter. De maximale breedte is 1 meter.

Ronde kolommen worden gemaakt door buizen te verlijmen. De maximale hoogte is 3 meter. De diameter ligt tussen de 100 en 260 millimeter. Het glas voor deze buizen is evenwel moeilijk verkrijgbaar.

Schoren en verbindingen

Voor het maken van schoren voor de constructie kan ook glas gebruikt worden. Hiervoor wordt holle buis gebruikt met een maximale lengte van 3 meter, met een diameter van 4 tot 260 millimeter. Ook hiervoor geldt dat het moeilijk verkrijgbaar is. In de meeste gevallen is het aan te raden om voor de schoren gebruik te maken van aluminium of roestvast staal (RVS).

Voor verbindingen en stabilisatie is het noodzakelijk om andere materialen dan glas te gebruiken, omdat het uitvoeren in glas óf überhaupt niet mogelijk is óf praktisch niet haalbaar is. In dat geval komen staal, RVS en aluminium in aanmerking. Aluminium heeft in veel gevallen de voorkeur omdat het goedkoop is, er gebruik gemaakt kan worden van extrusie, het goed lijmbaar is en het gemakkelijk verwerkbaar is.

Scheidende elementen in glas

Vlakke platen, voor gevels, vloeren en daken hebben een maximale breedte van 3,2 meter en een maximale lengte van 11,5 meter. De praktische lengte wordt echter vanwege uitvoeringsaspecten - montage tijdens de bouw - beperkt tot 6 meter voor vloeren en daken en tot 4 meter voor gevels.

Gekromde gevels kunnen op twee manieren gemaakt worden. De eerste optie is om gekromde glasplaten te gebruiken. De platen kunnen een enkele kromming krijgen. Dit is technisch mogelijk,

maar in de praktijk zelden wenselijk.

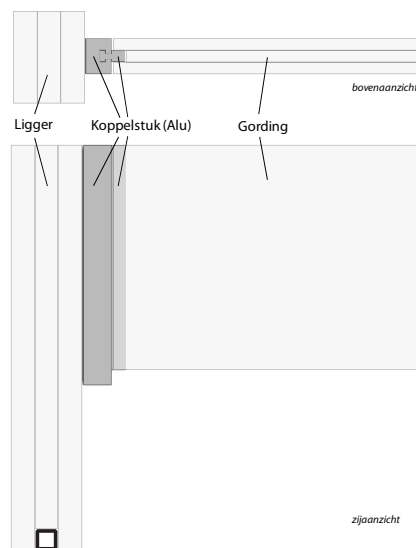
De andere mogelijkheid is om een gekromde gevel te benaderen door middel van facettering.

Hiervoor gelden vergelijkbare afmetingen als voor platen voor rechte geveldelen: maximaal 11,5 x 3,2 meter, maar vanwege uitvoeringsaspecten is het beter om 6 x 3,2 meter als maximum aan te houden

Bij de tool die ik voor dit project maak heb ik me beperkt tot rechte bouwdelen. Gekromde geveldelen zijn daarom op dit moment niet erg relevant. Toch heb ik ze opgenomen in dit overzicht, zeker ook omdat het bij een eventuele uitbreiding van de tool wel aan de orde zou kunnen komen en het duidelijk de diverse aspecten illustreert waar rekening mee gehouden moet worden.

Verbindingen

Hoewel het mogelijk is om boutverbindingen te maken bij glas, is dit vaak niet wenselijk: hiervoor moeten er gaten gemaakt worden in het glas, wat niet mogelijk is nadat glas gehard is (F. P. Bos et al. 2005). Voor verbindingen wordt daarom vrijwel uitsluitend gebruik gemaakt van lijmverbindingen. De verbindingen tussen de verschillende draagconstructieve elementen omvatten meestal verbindingen tussen glas en een metaal. Deze worden in alle gevallen via verlijming gerealiseerd. Verbinding van metalen onderdelen onderling kan in principe op alle manieren gedaan worden; in de meeste gevallen wordt een pen/gatverbinding gebruikt (Freek Bos & Technische Universiteit Delft. 2008, p.138).



Figuur 3 Illustratie van een aansluiting in het "All Transparent Pavilion"

Relatie tot de digitale tool

Uit bovenstaande samenvatting van belangrijke kenmerken van het bouwen van volledig glazen constructies wordt duidelijk dat er flink wat aspecten zijn om rekening mee te houden. Daarom is het juist een uitermate geschikt toepassingsgebied om te gebruiken voor de digitale ontwerptool. Het biedt uitgelezen mogelijkheden om de ontwerper op sleutelmomenten in het ontwerpproces te confronteren met de gevolgen van eerder genomen beslissingen.

Ik zal dit illustreren met een kort voorbeeld. Een uitgebreidere beschrijving van de tool komt weliswaar in de volgende hoofdstukken pas aan de orde, maar met dit voorbeeld wil ik de relatie tussen de ontwerptool en glasconstructies kort illustreren om aan te geven waarom de combinatie tussen glas en de tool een logische is.

Voorbeeld:

De ontwerper kan erachter komen dat bepaalde afmetingen van een ruimte ongunstig uitpakken voor de overspanningsrichting, omdat deze in beide richtingen meer dan een praktisch maximum van 11 meter bedraagt. De tool geeft dit automatisch aan. De ontwerper kan nu besluiten om een aanpassing te maken in het ontwerp. Hij kan er natuurlijk ook voor kiezen om zijn ontwerp te handhaven en de consequenties te aanvaarden: langere liggers die minder (kosten-)efficiënt zijn. Ook hierop wijst de tool de ontwerper onmiddellijk. De ontwerper wordt dus al in een vroeg stadium gedwongen tot een gefundeerde keuze. De tool zal de ontwerper hier dan ook meteen aan herinneren.

4. Inbedding in het onderwijs

Om een goed uitgangspunt te hebben voor het ontwikkelen van de tool, ben ik begonnen met het opstellen van de contouren voor een onderwijsmodule waarin de tool centraal komt te staan en ingezet kan worden. Deze contouren zijn gebaseerd op de probleemverkenning (hoofdstuk 1) en mijn eigen ervaringen in het Bouwkunde onderwijs.

Gezien de doelstelling om een betere integratie te bereiken tussen het architectonisch en het bouwtechnisch ontwerp, ligt het voor de hand een ontwerpopgave te maken. De student moet een ontwerp maken voor een gebouw waarin hij glas gebruikt als constructief materiaal en de scheidende elementen.

De docent stelt specifieke randvoorwaarden en eisen om voldoende complexiteit te bereiken; het is niet effectief als de student te eenvoudig problemen kan ontwijken of omzeilen. De tool daarvoor de nodige faciliteit bieden.

De studenten werken gedurende 6-8 weken (1 kwartaal) aan de opgave. De opgave wordt omkleed met enkele thematische lezingen om de studenten een beter inzicht te geven in het vakgebied en om ze inspiratie op te laten doen.

Doelgroep

De doelgroep bestaat uit studenten uit het derde jaar van de Bacheloropleiding Bouwkunde en studenten uit het eerste jaar van de Masteropleiding(en). In het bijzonder noem ik ook de studenten die instromen vanuit het HTO, de HTS bouwkunde opleiding.

De meeste studenten hebben enige ervaring met het maken van architectonische ontwerpen, alhoewel dat voor de groep die instroomt vanuit het HTO niet zozeer geldt. Voor allen geldt dat er nog weinig kennis is van en ervaring met specifieke ontwerpmethodieken om de technische realiseerbaarheid van het ontwerp te vergroten: om het ontwerpproces zo in te richten dat het uiteindelijke ontwerp een goede balans kent tussen architectonische kwaliteit en technische haalbaarheid.

De studenten hebben kennis van de basisbegrippen op het gebied van materiaalkunde, krachtwerving, draagconstructies, bouwfysica en voorschriften op het gebied van belastingen en vervormingen. De studenten missen echter gedetailleerde kennis op deze gebieden. Er is onvoldoende inzicht in de specifieke mechanische en materiaalkundige eigenschappen van glas, de specifieke draagconstructieve oplossingen etc.

Daarnaast hebben de studenten nog in onvoldoende mate inzicht in de consequenties die gemaakte keuzes binnen het ontwerpproces hebben. Technische problemen die voortvloeien uit beslissingen die tijdens het ontwerpproces genomen worden, hoeven vaak niet werkelijk opgelost te worden. De studenten worden vaak niet beoordeeld op de efficiëntie van een aangedragen oplossing. In veel gevallen is de relatie tussen een technisch probleem, voor zover dat erkend wordt, en een eerder genomen ontwerpbeslissing niet duidelijk voor de studenten.

Ontwerpopgave

De opgave voor de student ziet er als volgt uit:

- Maak een ontwerp voor een expositiegebouw voor de TU Delft.
- Er moeten conferenties gehouden kunnen worden voor 400 gasten, tentoonstellingen georganiseerd kunnen worden en kleinere workshops gehouden kunnen worden.
- Er moeten ruimten zijn voor de volgende functies:

Functie	Oppervlakte
Tentoonstellingszaal met mogelijkheid tot het plaatsen van een tribune voor 400 zitplaatsen	300
Conferentiezaal voor groepen van 20 personen	30
2 Conferentiezalen voor groepen van 40 personen	120
Lobby met 10 werkplekken voor gasten en garderobe	40
4 Kantoren voor ondersteuning / ruimtes voor sprekers, etc + pantry	50
Restauratie met zitruimte voor 80 gasten + eenv. keuken	150
Ondersteunende functies (sanitair, opslag, techniek)	160
Totaal	850

Tabel 1 Programma van eisen van de ontwerpopgave

- Het bebouwd grondoppervlak is maximaal 600 m². Het gebouw is op het hoogste punt minimaal 12 meter hoog, zodat het vanuit de omgeving duidelijk zichtbaar en vindbaar is.
- De locatie is het oude bouwkunde terrein (“Berlageweg”)
- Er wordt gebruik gemaakt van een digitale tool om het ontwerp te ontwikkelen. De vormvrijheid is beperkt tot rechthoekige vormen.

Leerdoelen

Het vak waarin de tool ingezet wordt, heeft de volgende leerdoelen:

- De student kan een schetsontwerp met aangegeven complexiteit maken, waarbij technische aspecten al vanaf de schetsontwerp fase een integraal onderdeel vormen van het ontwerp en het ontwerpproces.
- De student kan een realistisch draagconstructief ontwerp maken voor de constructie van het totale ontwerp, uitgevoerd in glas.
- De student heeft ervaring met het inzetten van de verstrekte tools en methodes die hem

helpen bij het houden van overzicht over een groot aantal technische aspecten in het ontwerpproces.

- De student heeft kennis van de toegepaste ontwerpmethodiek waarin bouwtechnische aspecten vanaf het begin van het ontwerpproces een integraal en gelijkwaardig onderdeel zijn.
- De student kan met behulp van de aangereikte tool een ontwerp maken waarbij technische aspecten een integraal onderdeel vormen van het gehele ontwerpproces. Deze technische aspecten hebben betrekking op het toepassen van glas als primair materiaal voor de constructie.
- De student kan in reflectie op het eigen ontwerpproces een inschatting maken van de haalbaarheid en betrouwbaarheid van het gemaakte voorlopig ontwerp.
- De student kan het gemaakte ontwerp in relatie plaatsen tot andere, soortgelijke ontwerpen op het gebied van haalbaarheid, realiseerbaarheid en betrouwbaarheid.

Producten

Het ontwerp wordt gepresenteerd via de volgende producten:

- Technische tekeningen (plattegronden, aanzichten, doorsneden en schema DC)
- De architectonische uitwerking en materialisering wordt toegelicht met behulp van renders van het 3D model: vogelvluchten van het gehele gebouw en interieur ooghoogte perspectieven
- Het draagconstructief ontwerp wordt gepresenteerd aan de hand van een schematische overzicht (renders) en een overzicht van de rapportage van de tool (waarschuwingen en opmerkingen in tekst)
- Daarnaast wordt via een componentenstaat inzichtelijk gemaakt wat de kengetallen van het ontwerp zijn (oppervlaktes) en uit welke componenten het bestaat en hoeveel van elk component.
- Tot slot geeft de student een reflectie op het ontwerpproces en het uiteindelijke ontwerp in een online weblog.
- De tool speelt een belangrijke rol bij het produceren van bovenstaande producten.

Beoordelingscriteria

Het ontwerp dat door de student is gemaakt, wordt op de volgende punten beoordeeld aan de hand van de gemaakte producten:

- Draagconstructief ontwerp: Voldoet het DC ontwerp (krachten, standzekerheid, etc.)? Verantwoording van het DC ontwerp en keuzes voor elementen van de DC.
- Ruimtelijke kwaliteit en het tot uitdrukking brengen van glas als constructief materiaal
- Beargumentatie van de gemaakte keuzes tussen de varianten

- Inzicht (reflectie) in de problemen/'tekortkomingen' van het gemaakte ontwerp en wat zijn de (on)zekerheidsfactoren

5. Programma van eisen voor de Tool

In dit hoofdstuk beschrijf ik het programma van eisen voor de digitale tool dat ik heb opgesteld. Dat programma is voortgekomen uit de eisen die ik heb opgesteld voor inbedding van de tool in het onderwijs. De contouren die ik heb opgesteld voor een vak waarin de tool gebruikt wordt, hebben de functionaliteit bepaald die de tool moet bieden. Ze zijn ook in belangrijke mate bepalend geweest voor keuzes om bepaalde functionaliteit juist achterwege te laten.

De tool speelt een belangrijke rol in het verzamelen van de benodigde gegevens en het aanleveren van deelproducten. Daarbij ligt het zwaartepunt bij het zoveel mogelijk genereren van digitale informatie.

Onderstaand overzicht geeft aan wat de belangrijkste producten en deelproducten zijn en of het realiseren hiervan noodzakelijk is of wenselijk.

Product	Wens of eis	Type uitvoer
Analyse rapport	Eis	Tekst
Renders 3D model exterieur en interieur	Eis	Plaatjes
Opengewerkte plattegronden	Eis	Plaatjes
Gevelaanzichten	Eis	Plaatjes
Overzicht alternatieven en varianten	wens/eis	Schema/ Tekst
Componentenlijst	wens/eis	Tekst en Numeriek
Kengetallen (oppervlaktes)	wens/eis	Numeriek
Draagconstructieschema 2D/3D	Wens	Plaatjes
Basis voor 2D technisch tekeningen	Wens	Lijntekening
Model voor doorrekenen krachten etc. (extern)	Wens	<i>variabel</i>

Tabel 2 Overzicht van eisen en wensen

De informatie staat centraal. De tool moet een grote flexibiliteit nastreven in de manier waarop de student hem gebruikt om het ontwerp te maken en via het ontwerp de informatie (data) te gebruiken en te bewerken. Zowel tijdens het ontwerpproces bij het maken van keuzen en onderzoeken van varianten, als voor het uiteindelijk genereren van ‘producten’, namelijk de informatie over het ontwerp.

De interface is de toegangspoort voor de gebruiker tot de data die in het model ligt opgeslagen. Daarbij is het van belang dat de tool deze informatie doseert en op de meest geschikte wijze presenteert aan de gebruiker. Waar mogelijk moet de gebruiker de mogelijkheid geboden worden om te kiezen welke gegevens er getoond worden en hoe deze getoond worden. De logica die in de tool zit verwerkt communiceert via de interface met de gebruiker zodat deze op de juiste momenten de juiste informatie, keuzes en resultaten te zien krijgt. In het hoofdstuk Interface ontwerp geef ik een uitgebreide beschrijving van de interface.

De tool genereert tijdens het gebruik ook informatie over het proces dat doorlopen is. Een geschiedenis van de onderzochte varianten vormt hiervoor de basis. Deze geschiedenis kan zowel in

de tijd als hiërarchisch geordend worden, zie Figuur 4 en Figuur 5. Deze gegevens kunnen gebruikt worden voor verslaglegging over het ontwerpproces en kunnen de gebruiker helpen om de gemaakte keuzes te verantwoorden.

Bij het gebruik van een digitale tool ligt het voor de hand om deze informatie in eerste instantie digitaal uit te voeren. Daarbij kan gedacht worden aan het publiceren naar een weblog of andere online documentatietool. In een vervolgstap kan de informatie desgewenst omgezet worden naar meer traditionele, ‘analoge’ media.

Tot slot moet de gebruiker de mogelijkheid geboden worden om op eenvoudige wijze diverse weergaven van het ontwerp (als tussentijds product of als eindproduct) te genereren vanuit het model. Hierbij denk ik aan plaatjes (renders) van het 3D model, plattegronden, gevelaanzichten ter visualisatie van het ontwerp.

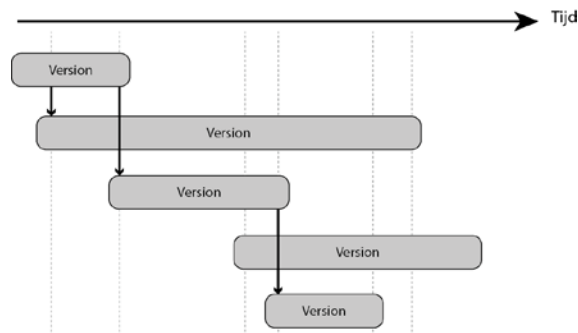
Daarnaast moet er de mogelijkheid zijn om de belangrijkste kengetallen en andere (kwantitatieve) informatie over het ontwerp uit het model te extraheren, zodat deze als basis kunnen dienen voor het vergelijken op kwantitatieve aspecten. Daarbij kan zowel gedacht worden aan de ruwe gegevens per ontwerpvariant als gegevens over de vergelijking tussen twee varianten.

Omdat de keus voor het type bouwelementen en de variatie daarin een belangrijk aspect is waar de tool aandacht aan besteedt, ligt het voor de hand dat de gebruiker ook een snel overzicht kan genereren van het aantal verschillende elementen dat in het ontwerp aanwezig is als de totaalaantallen van elk van de verschillende elementen.

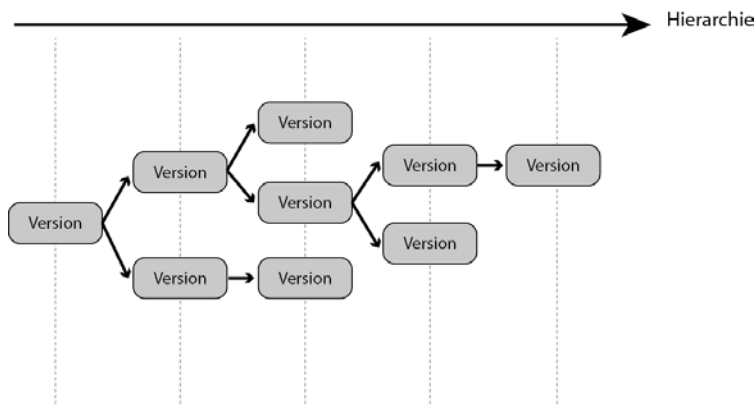
De hoeveelheid informatie die uiteindelijk in het ontwerp/model ligt opgesloten, is enorm. Aan de ene kant is er ‘broninformatie’ over de technische aspecten van het gebruik van glas, aan de andere kant produceert het ontwerpen (het proces) een schat aan informatie. Er is dus bijzonder aandacht nodig voor selectie, prioritering, beperking, dosering, etc. Dit hangt uiteindelijk nauw samen met de interface: de presentatie van de geselecteerde informatie aan de gebruiker. In hoofdstuk 7 ga ik hier nader op in.

Varianten

De tool stelt de ontwerper in staat om snel varianten te maken en te vergelijken. Varianten kunnen ontstaan door aftakkingen te maken van het ontwerp op een willekeurig moment. Dat kan bijvoorbeeld zijn op een moment dat een gebruiker een keuze tussen een aantal alternatieven voorgelegd krijgt. Daarnaast kunnen varianten ook ‘extern’ ontstaan en ingeladen worden door de ontwerper. Een belangrijke categorie is *collaborative design*, maar dat valt buiten de scope van dit onderzoek. Waar mogelijk wordt er bij de ontwikkeling wel op geanticipeerd. Een ander scenario voor het inladen van een ‘externe’ variant is het vergelijken van het ontwerp met dat van een medestudent.



Figuur 4 Variantengeschiedenis geordend in de tijd



Figuur 5 Variantengeschiedenis hiërarchisch geordend

Het werken met varianten kan al snel leiden tot een onoverzichtelijk ‘oerwoud’ aan varianten. Er moet dus gekeken worden hoe dit beheersbaar gehouden kan worden. Ook dit wordt nader toegelicht in hoofdstuk 7 over het interface ontwerp.

Proces

De tool moet de student stimuleren om een uitgebreid, iteratief proces te doorlopen voor het onderzoeken van varianten van het bouwkundig ontwerp, waarbij de bouwtechnische aspecten een belangrijke, sturende rol krijgen. In verschillende iteratieslagen moet de student uitgedaagd worden om verschillende opties te onderzoeken en het ontwerp verder uit te breiden, te verbeteren en te verfijnen (verder uitwerken). In hoofdstuk 9 zal blijken dat dit grote overeenkomst vertoont met het ontwerp van de tool dat ik gemaakt heb.

Een belangrijk onderdeel is het inzichtelijk maken van dit ontwerpproces. Daarom is het belangrijk dat de tool hierin faciliteert. Door het bijhouden van de verschillende versies en door op sleutelmomenten verschillende versies bij te houden voor verschillende keuzeopties die uitgetest worden, kan uiteindelijk het globale verloop van het proces vastgelegd worden. Het is dus van groot belang dat de tool het makkelijk maakt om met verschillende versies te werken. Oude versies, waarbij een bepaalde keuze is afgekeurd moeten dus ook bewaard blijven.

Het bijhouden van verschillende versies is alleen nuttig als ook vastgelegd wordt waarom verschillende versies onderzocht worden: welke vraag of keuze lag er voor en welke mogelijkheden worden onderzocht. Voor een deel ligt die informatie opgesloten in de relatie tussen versies, maar de gebruiker zal ook zelf notities moeten maken bij de versies. De tool moet dit op zijn minst stimuleren, maar waar nodig ook afdwingen.

Ook als een variant wordt afgekeurd is het belangrijk dat de gebruiker vastlegt op grond waarvan deze afvalt. In sommige gevallen zal dat duidelijk zijn uit analyseresultaten van de tool, maar ook dan is een korte verwoording door de gebruiker zeer waardevol. In andere gevallen is er misschien een minder duidelijk aanwijsbare reden om wel of niet voor een bepaalde variant te kiezen en dan is het vastleggen van de overwegingen van groot belang.

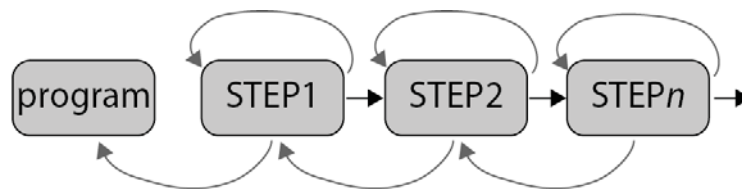
De relatie tussen de verschillende versies moet via een grafisch overzicht geraadpleegd kunnen worden. Het is wenselijk om een dergelijk overzicht ook te kunnen exporteren voor gebruik buiten de tool.

De tool zou aansluiting op een blog/wiki of andere digitale omgeving kunnen ondersteunen, zodat de gebruiker op eenvoudige wijze het proces kan bijhouden. De tool moet waar mogelijk informatie aandragen voor vastlegging van het proces. Hetzij volledig automatisch en zonder dat interactie met de gebruiker vereist is, danwel door het doen van een voorstel dat door de gebruiker uitgebreid of aangepast kan worden.

6. Conceptueel ontwerp van de Tool

In dit hoofdstuk geef ik een overzicht van de hoofdgedachte waarop de tool gebaseerd is. Namelijk dat de tool stimuleert, of zelfs afdwingt, dat het proces opgedeeld wordt in losse stappen om het mogelijk te maken dat de gebruiker op elk moment terug kan gaan om beslissingen in eerdere stappen te herzien. Dit kan worden gevat in het volgende schema:

Stroomschema



Figuur 6 Indeling in stappen

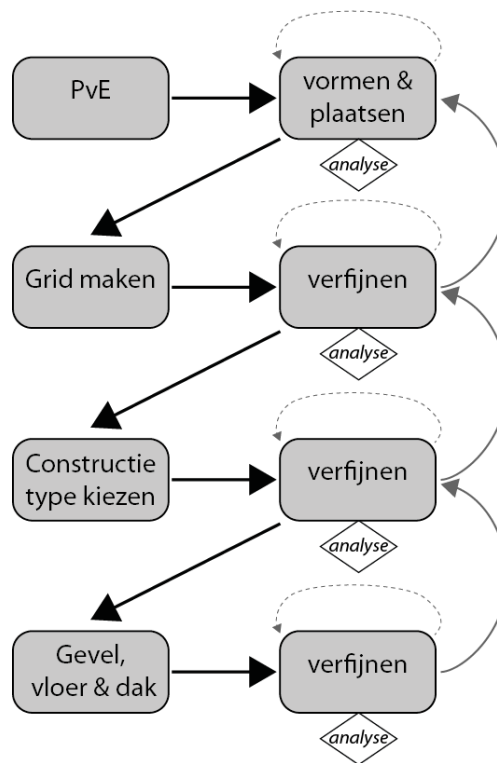
Het ontwerpproces is opgedeeld in een aantal aaneengesochelde stappen. Elke stap staat voor een iteratief deelproces. Als er geen iteraties binnen een stap meer gemaakt hoeven te worden, kan de gebruiker óf doorgaan met de volgende stap, óf besluiten om terug te gaan naar een vorige stap, bijvoorbeeld omdat via iteraties binnen de stap niet tot een bevredigend resultaat gekomen kan worden.

Versies / varianten

De gebruiker wordt gestimuleerd (lees: gedwongen) om met versies te werken. Dat is vergelijkbaar met varianten die een ontwerper tijdens een ontwerpproces maakt. In deze tool vervullen ze een belangrijke rol bij het documenteren van het proces. Het resultaat van het maken en vergelijken van varianten is meestal een volgende versie van het ontwerp. Zonder al te zeer in te willen gaan op het subtiële (taalkundige) verschil tussen een variant en een versie, duid ik beide in de tool aan als versie. Een variant is een afgesplitste versie die later, eventueel samen met andere afgesplitste versies, óf verwerkt wordt in een nieuwe versie óf afgekeurd wordt (maar ook dan is het waardevol om de versie te bewaren!).

Zodra de gebruiker een nieuwe versie aanmaakt, wordt gevraagd om kort te documenteren wat de rol of functie van de nieuwe versie is. Wat wordt er vergeleken, of welke optie wordt onderzocht. Dit wordt vastgelegd in de versie-geschiedenis. Indien van toepassing wordt er bijgehouden op welke versie een nieuwe versie is gebaseerd. De gebruiker kan ook een nieuwe versie maken die niet direct een relatie heeft met een voorgaande versie.

Stappen



Figuur 7 Overzicht van de stappen

Het proces is opgedeeld in een aantal stappen. Voor het prototype van de tool dat ik in dit onderzoek gemaakt heb, heb ik me beperkt tot de stappen die in het schema zijn weergegeven. Maar het spreekt voor zich dat dit principe verder uitgebreid kan worden. Ik beschrijf hier kort uit welke stappen het proces bestaat. Daarbij geef ik het proces kort in een enkele richting weer. Het echte proces dat de gebruiker doorloopt zal vermoedelijk (hopelijk) bestaan uit diverse iteraties binnen stappen en waarnodig zal de gebruiker terugkeren naar eerdere stappen om aanpassingen te maken. Omwille van de overzichtelijkheid beperk ik me nu even tot een enkelvoudig “eenrichtings”-proces.

Het proces start bij het programma van eisen vanwaaruit de volumes aangemaakt worden. Deze worden vervolgens geplaatst en de globale vorm bepaald. Vervolgens wordt een constructie grid gekozen. Dit grid en de aansluiting op de volumes kan vervolgens verfijnd worden. Een analyse wijst uit of het grid aan de vereisten voldoet. Vervolgens wordt een keuze gemaakt voor een constructieprincipe. Op basis hiervan wordt een constructie gegenereerd die door gebruiker aangepast en verfijnd wordt op basis van de analyseresultaten die door de tool gegenereerd worden. Tenslotte wordt een keuze gemaakt voor de opbouw en samenstelling van de gevels, vloeren en daken. Ook deze worden aangepast en verfijnd op basis van de analyseresultaten.

Rapportage

Tijdens het gehele proces wordt een vinger aan de pols gehouden om de status van het ontwerp te duiden en te bewaken. Hiervoor is er een “Assessment” module aanwezig waarin een overzicht gegeven wordt van belangrijke informatie aangaande het ontwerp. Deze informatie bestaat uit aandachtspunten voor mogelijke verbeteringen en foutmeldingen als ergens aan kritische voorwaarden niet wordt voldaan.

Producten

Op het moment dat de gebruiker een versie van het ontwerp heeft uitgewerkt, is er de mogelijkheid om diverse producten te genereren om het ontwerp mee te kunnen documenteren of presenteren. In Tabel 2 op pagina 17 staat een overzicht van de producten. Ik maak onderscheid in een aantal categorieën. Voor de visualisatie kunnen er renders (plaatjes) gemaakt worden van het ontwerp in perspectief en in aanzicht. Daarnaast kunnen er lijntekeningen gegenereerd worden die als basis kunnen dienen voor technisch tekeningen. Verder is er de mogelijkheid om diverse soorten rapportages te genereren. Deze bestaan uit de resultaten van de diverse analyses, kwantificaties (oppervlaktes, aantal, elementenstaat, etc.). Tot slot kan een gebruiker de informatie over de verschillende versies en notities die in de loop van het ontwerp verzameld zijn in een compleet overzicht zetten. Hij kan die gebruiken als basis voor verslaglegging van het ontwerpproces.

7. Interface ontwerp

Inleiding

De tool herbergt een groot aantal functies en werkt volgens het in het vorige hoofdstuk beschreven concept. Om de gebruiker zonder al te veel instructies vooraf met de tool te kunnen laten werken, heb ik een ontwerp gemaakt voor de interface. De volgende paragrafen geven een gedetailleerde beschrijving van de verschillende onderdelen.

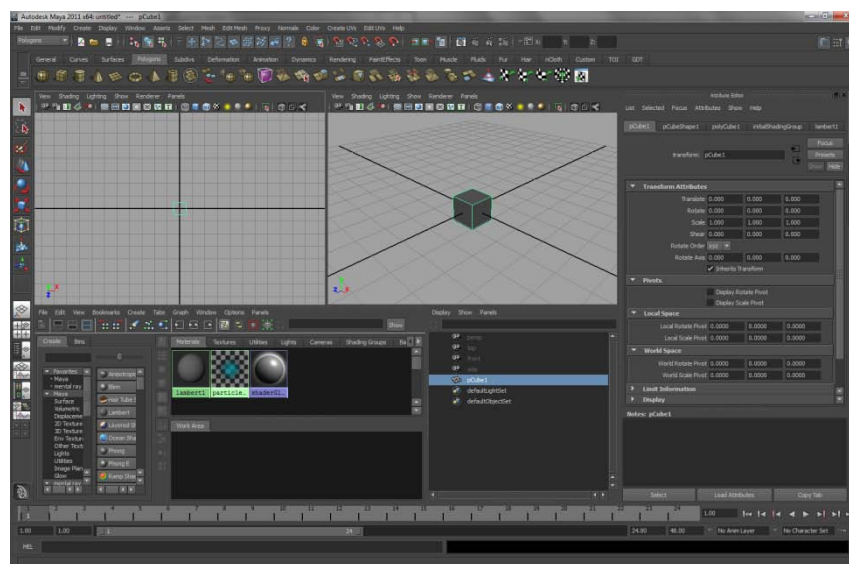
Ik ontkom er daarbij niet aan om ook hier en daar al wat van de functionaliteit te verklappen. Ik beperkt me hier echter zoveel mogelijk tot de functionaliteit die direct gerelateerd is aan de interface. De functionaliteit wordt in het volgende hoofdstuk verder beschreven en toegelicht.

Het ontwerp van de interface is gemaakt voor een prototype van de tool. Ik heb daarbij ook gelet op algemene regels voor gebruiksgemak en duidelijkheid van interfaces (Silver 2004) en getracht te voorkomen een onnodig complexe of onduidelijke interface te maken. Dit is echter slechts een secundair aspect geweest in mijn onderzoek. Interfaceontwerp is een opzichzelfstaande discipline waar veel interessants over te zeggen is, maar omwille van de begrenzings van dit onderzoek heb ik mij beperkt tot enkele hoofdzaken. Daardoor zullen er op het gebied van de interface ongetwijfeld nog verbeteringen mogelijk zijn.

Daarnaast wordt het ontwerp van de interface en de gerealiseerde interface ook beperkt door de keuze om een tool voor Maya te ontwikkelen. Dat levert de nodige beperkingen op. Enerzijds omdat Maya slechts een beperkte set aan interface-elementen beschikbaar heeft, anderzijds omdat sommige oplossingen weliswaar niet onmogelijk zijn, maar wel complex. Hier en daar heb ik me ook om deze reden beperkt in de interface.

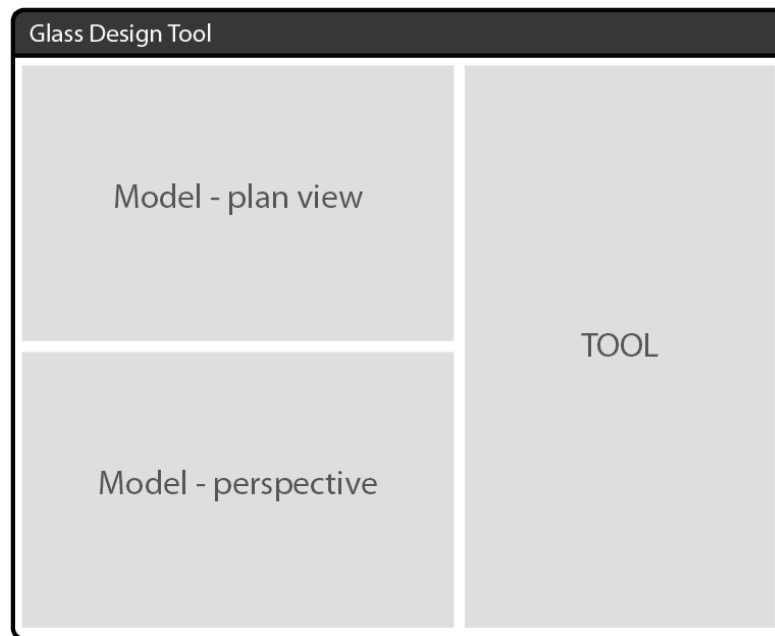
Overzicht

De basis van de interface van de tool wordt gevormd door een indeling en aanpassing van de standaard Maya interface. In Figuur 8 is te zien dat de standaard interface van Maya zeer uitgebreid is en voor een gebruiker die het programma voor het eerst opent nogal indimiderend kan zijn door de grote hoeveelheid informatie.



Figuur 8 De interface van Maya in volle glorie

Ik heb er voor gekozen om de interface van Maya bij gebruik van de tool te beperken tot de essentiële delen, zodat de gebruiker overzicht kan houden. Het beeld wordt opgesplitst in drie delen.

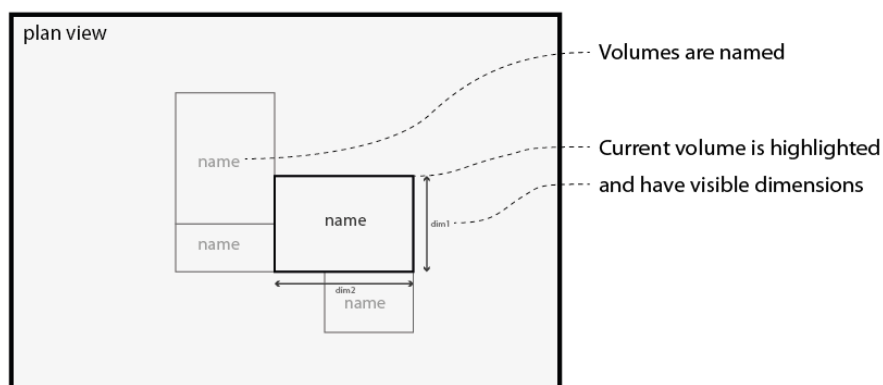


Figuur 9 Overzicht van de gehele interface

Er zijn twee 'viewports' voor het weergeven van het model dat opgebouwd wordt. De bovenste toont het ontwerp in plattegrond weergave, de onderste in perspectief weergave. Het is uiteraard mogelijk om dit te wisselen en om ook aanzichten van het ontwerp weer te geven.

Model weergave

In de modelweergave wordt het ontwerp getoond. Voor zowel de plattegrond weergave als de perspectief weergave gelden dezelfde kenmerken.

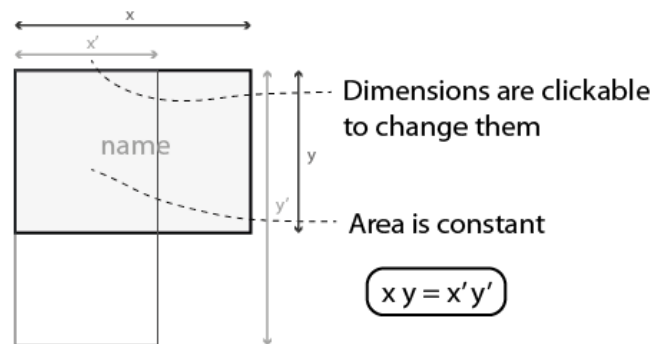


Figuur 10 Plattegrondweergave

Alle onderdelen (volumes) van het ontwerp hebben een naam die in elk onderdeel wordt weergegeven. Het ligt voor de hand om voor de namen de functie van de betreffende ruimte of volume te gebruiken, maar hier is de gebruiker vrij in om dit zelf te kiezen.

Een onderdeel dat geselecteerd is wordt herkenbaar weergegeven, zodat duidelijk is aan welk

onderdeel gewerkt wordt. Zodra een onderdeel geselecteerd is worden de kenmerkende maten getoond, zodat de gebruiker snel en gemakkelijk kan zien hoe groot het is.

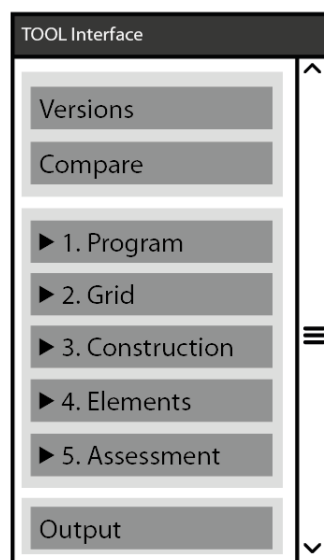


Figuur 11 Detail van de plattegrondsweergave

In Figuur 11 is een detail te zien van een geselecteerd volume. De bematingen kunnen aangeklikt worden, waarna ze direct te wijzigen zijn. Bij het aanpassen van de maten van het volume zorgt de tool ervoor dat het grondoppervlak altijd gelijk blijft. Dit is direct en interactief in de interface te zien.

Toolbox interface

Het tweede, belangrijkste onderdeel van de interface is de “Toolbox”. Hierin zijn alle onderdelen, tools en informatiebronnen van de tool verwerkt.

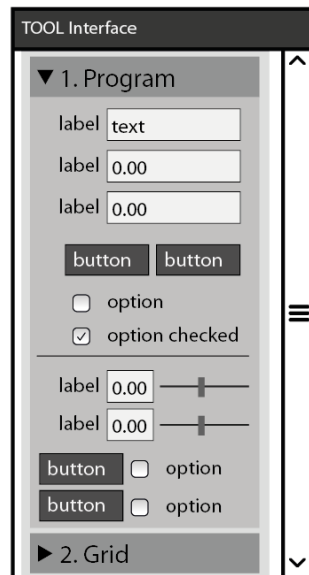


Figuur 12 Overzicht van de toolbox

De toolbox is vertikaal gestructureerd. Bovenaan de algemene onderdelen en daaronder de delen, of stappen van het proces dat de ontwerper doorloopt zoals beschreven in het conceptueel ontwerp.

De verschillende delen zijn standaard ingeklapt. Voor de overzichtelijkheid kan steeds één deel tegelijk worden uitgeklappt, waarna de volledige inhoud aan tools van dat onderdeel zichtbaar

worden. Zodra de gebruiker dus een ander deel openklapt, wordt het vorige deel dus weer ingeklapt. Dit voorkomt dat de gebruiker moet scrollen in de interface, aangezien er op het scherm slechts beperkt ruimte is.



Figuur 13 Toolbox met een uitgevouwen onderdeel

In Figuur 13 is te zien hoe de toolbox er uit ziet als een onderdeel is uitgevouwen. Er verschijnt dan een overzicht van invoervelden, knoppen en keuzemenu's die de gebruiker in die specifieke stap ter beschikking staan.

Het is van belang om op te merken dat de meeste interface onderdelen niet statisch zijn. De exacte indeling en zichtbaarheid van de tools kan variëren. Dit kan afhangen van diverse factoren, zoals wat er geselecteerd is, of er aan bepaalde voorwaarden is voldaan of welke keuze er gemaakt is.

Overkoepelend: versies

Bovenaan in de interface staan twee belangrijke onderdelen die gedurende het gehele proces, dus bij alle stappen, relevant zijn. Dit zijn de onderdelen van de interface die te maken hebben met het gebruik en beheer van versies. Zoals ik eerder heb aangegeven vormt het werken met versies een belangrijk onderdeel van de tool.

Het eerste onderdeel bestaat uit een interface om te kiezen aan welke versie er op dat moment gewerkt wordt. Daarnaast biedt het functies zoals het aanmaken, hernoemen en verwijderen van versies.



Figuur 14 Overzicht van de Compare interface

Een van de belangrijkste functies is om twee versies met elkaar te kunnen vergelijken. Figuur 14 geeft de indeling weer van het venster waarin de vergelijking gemaakt wordt. Omwille van ruimte opent deze vergelijker in een apart venster.

Het venster is in twee kolommen gedeeld. In elke kolom is een versie zichtbaar. Bovenaan is het model van de gekozen versie in perspectivische weergave zichtbaar. Deze weergave kan gedraaid worden en de gebruiker kan er inzoomen op delen van het ontwerp. Er is daarbij de mogelijkheid om de bewegingen te synchroniseren met het model dat in de andere kolom getoond wordt, zodat beide varianten steeds uit dezelfde hoek bekeken worden.

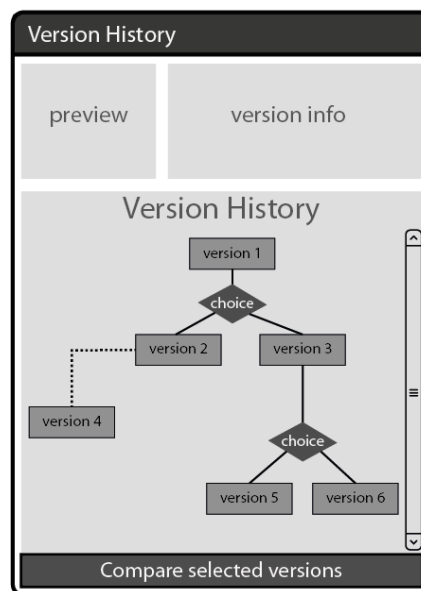
Direct onder de weergave van het model is een pulldown menu aanwezig waarmee een versie gekozen kan worden. Zodra er een andere versie uit het menu gekozen wordt, wordt deze direct in het venster getoond.

Daaronder worden de details van de geselecteerde versie getoond. Dit is opgedeeld in een aantal thema's. Deze informatie omvat onder andere het stadium waarin het ontwerp zich bevindt, kenmerken van de versie (waaronder metadata), een overzicht van de belangrijkste prestatie-indicatoren van de versie en een rapport waarin eventuele opmerkingen, waarschuwingen of problemen aangaande deze versie getoond worden.

The image shows a vertical sidebar menu with several sections. The 'Progress' section is expanded, showing a 'View' list with five items: 'Program Volumes' (checked with a green circle), 'Grid' (checked with a green circle), 'Construction' (unchecked with an orange warning icon), 'Elements' (unchecked with a red X icon), and 'Assessment' (unchecked with a red X icon). Below this is a 'Version Info' section. The 'Version Record' section is expanded, showing a list of input fields: 'Area' with the value '- 50', 'Facade' with '1580', 'Construction diversity' with '3 elements', 'criteria x' with '0', and 'criteria y' with '0'. At the bottom is an 'Assessment' section.

Figuur 15 Inhoud van het informatiepaneel bij een versie

Figuur 15 laat de informatie zien die per versie getoond wordt. De belangrijkste onderdelen zijn “Progress” en “VersionRecord”.



Figuur 16 Overzicht van geschiedenis van versies

Er is een apart venster waarin de versiegeschiedenis getoond wordt. Daarin kan bekeken worden welke versies er zijn en wat de relatie is tussen de versies.

“Program Volumes”

Het onderdeel “Program Volumes” vormt de eerste stap in het proces. Hierin vertaalt de gebruiker een programma van eisen naar diverse volumes die vervolgens gerangschikt kunnen worden.

▼

1. Program Volumes

Name

volume name

Area

300

Height

2.8

create volume

import

volume name (selected)

Area

200

220

L x W

20.0

11.0

Height

2.80

3.20

Settings and controls

Volume pivot position

Snap

1.0

Move volume

Scale volume

Rotate volume

Figuur 17 Inhoud van het Program Volumes deel

Bovenaan kunnen nieuwe volumes gemaakt worden. Elk volume heeft een unieke naam en wordt gedefinieerd door een oppervlakte en een (netto) hoogte.

Het gedeelte daaronder geeft de informatie over en tools voor het geselecteerde volume weer. De eigenschappen van het volume kunnen zowel numeriek via de toolbox worden aangepast, als interactief via schaal-tools en de bematingen in de model weergave.

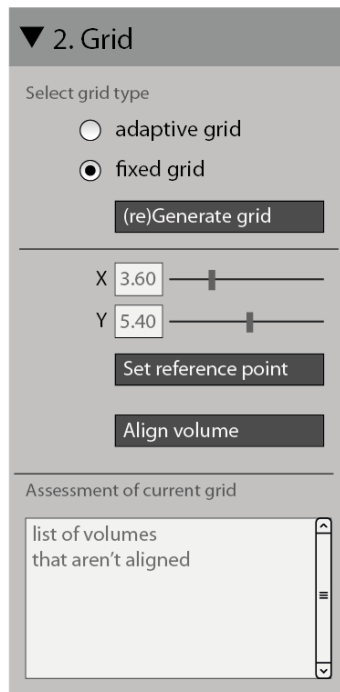
Zowel de oppervlakte als de hoogte hebben een tweede veld. In het tweede veld staat de reële waarde die het volume heeft; de eerste kolom bevat voor de oppervlakte het gewenste oppervlak en voor de hoogte de netto hoogte. In latere stappen zal de hoogte afwijken om ruimte te bieden voor de constructie; het oppervlakte kan afwijkend zijn om aansluiting op andere volumes of het grid mogelijk te maken.

Direct daaronder zijn de instellingen te vinden voor de tools voor het rangschikken en bewerken van de volumes. De 'pivot' bepaalt het zwaarte- en rotatiepunt.

Om gemakkelijk nauwkeurig te kunnen werken “snapt” (schiet) het volume naar naastgelegen volumes voor een nette aansluiting. De maximale afstand waarop er gesnapt kan worden is via de interface instelbaar.

“Grid”

De tweede stap omvat het aanmaken van een stramien, hier aangeduid met de Engelse term “grid”. Het grid wordt gebruikt als basis voor het genereren van de constructie in de volgende fase. Er zijn verschillende gridprincipes mogelijk. Vooral nog worden er twee mogelijk gemaakt: een adaptief grid en een vast grid. Bij een adaptief grid zijn de randen van de volumes bepalend voor het grid, bij een vast grid heeft elke gridlijn een vaste afstand ten opzichte van de vorige gridlijn.

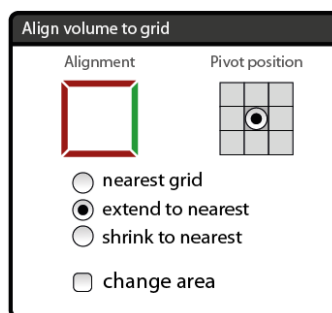


Figuur 18 Overzicht van het “Grid”-deel

Er is een knop om het constructiegrid aan te maken of opnieuw te genereren, maar er is ook de optie om het grid automatisch opnieuw te laten genereren zodra er een instelling wordt gewijzigd.

Voor een vast grid kan de afstand tussen gridlijnen voor beide richtingen ingesteld worden. Daarnaast is er een knop om het referentiepunt voor het grid vast te leggen. Vanuit dat punt wordt het grid in beide richtingen opgebouwd.

Nadat een vast grid is aangemaakt, is de volgende stap om te kijken of de volumes goed overeenkomen met dit grid – er wordt vastgesteld of elk volume goed is uitgelijnd met het grid. De interface geeft een overzicht van de volumes waarvoor dit niet het geval is. Dit kan vervolgens met de knop “Align” per volume aangepast worden. Het uitlijnen geschiedt via een los venster:



Figuur 19 Interface voor het uitlijnen van een volume

Het venster laat aan de linker kant zien welke zijden van het volume wel en niet corresponderen met het gemaakte grid. De gebruiker kan de uitlijning bewerkstelligen door in de interface op de zijde te klikken die niet goed is uitgelijnd.

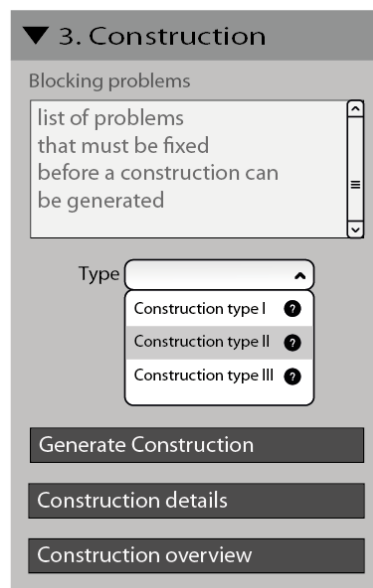
Voor het uitlijnen zijn drie opties beschikbaar die de gebruiker onder in de interface kan kiezen. Deze keuze geeft aan of het volume in de richting haaks op de zijde óf groter moet worden, óf kleiner of dat dat automatisch gekozen moet worden al naar gelang welke afstand het kleinste is.

Met de optie “Change area” kan de gebruiker aangeven dat uitlijning op alle vier de zijden mogelijk moet zijn als het grid geen mogelijkheid biedt om tot de gekozen oppervlakte te komen. Het daadwerkelijke oppervlak wordt dan iets groter of kleiner dan het gewenste oppervlak.

“Construction”

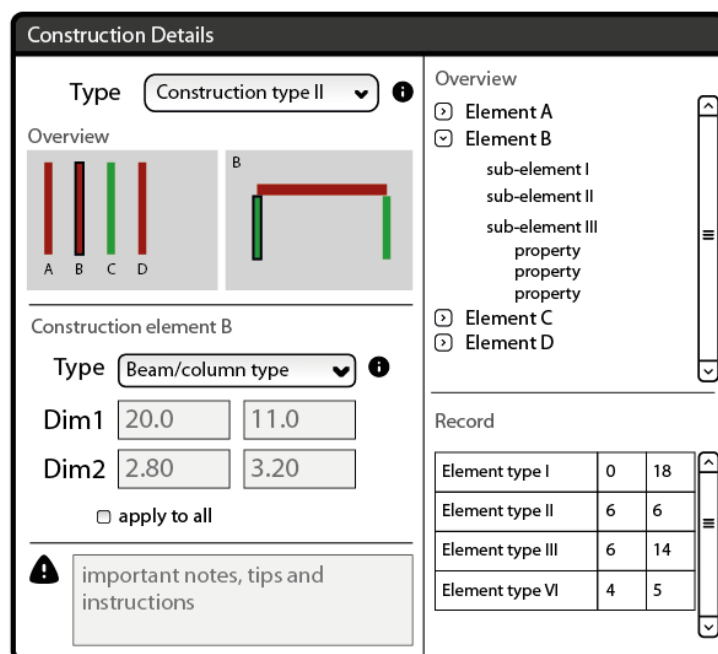
Zodra er een grid is vastgesteld kan er begonnen worden aan het kiezen en maken van de hoofdconstructie.

Allereerst wordt de gebruiker nogmaals geconfronteerd met een diagnose van de uitlijning van de volumes op het grid, aangezien dat voor deze stap cruciaal is. Omdat de gebruiker niet altijd via het beëindigen van de Grid stap aanlandt bij het maken van de constructie, wordt de lijst met volumes die niet uitgelijnd zijn met het grid hier dus opnieuw getoond.



Figuur 20 Overzicht van het Construction deel

De gebruiker start met het kiezen van een draagconstructie-principe. Er wordt dan direct een voorvertoning gegenereerd van de constructie. Vervolgens kan de constructie verfijnd worden:



Figuur 21 Interface voor het verfijnen van de constructie

De verdere uitwerking van de constructie geschiedt in een apart venster. Werken via de modelweergave is niet in alle gevallen even geschikt en overzichtelijk, vandaar dat ik daarvoor een aparte interface heb ontworpen.

Aan de rechter zijde is een overzicht te zien van de hiërarchie van de elementen waaruit de constructie voor het geselecteerde onderdeel is opgebouwd. Direct daaronder is een staat opgenomen die van elk type aangeeft hoeveel elementen er gebruikt worden voor de constructie van dit deel en in het gehele ontwerp. Het is voor glasconstructies van belang om het aantal verschillende elementen laag te houden (zie hoofdstuk 3). Het is dus nuttig om een duidelijk overzicht te hebben van de verschillende constructie-elementen in het totale ontwerp.

Aan de linker zijde is een schematische weergave van de constructie zichtbaar waarin de gebruiker afzonderlijke elementen of elementgroepen kan selecteren om aan te passen. Daaronder zijn de opties aanwezig om het geselecteerde onderdeel van de constructie aan te passen. De precieze inhoud hiervan varieert en hangt af van het geselecteerde type constructie.

“Elements”

De laatste stap in het ontwerp voor mijn prototype is het kiezen van bouwelementen voor gevel, vloer en dak.

Het is denkbaar dat er in de toekomst nog stappen aan toegevoegd worden voor zaken als verbindingen en dergelijke. Maar daarbij merk ik op dat dan het domein van het schetsontwerp wel opgerekt wordt. Om die reden heb ik het ontwerp voor de tool hier dan ook beëindigd.



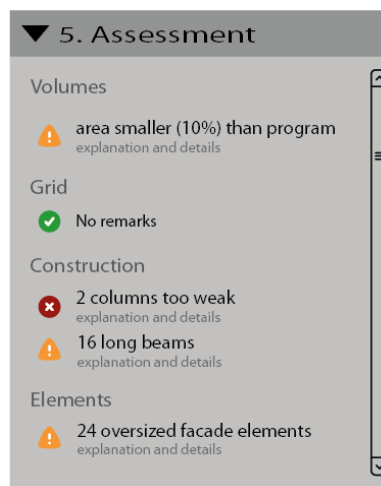
Figuur 22 Overzicht van het Elements deel

Het ontwerp van deze interface is gemaakt om geheel in de toolbox opgenomen te worden. Het is echter waarschijnlijk dat het uiteindelijk voor dit onderdeel ook beter is om een apart venster te krijgen, vergelijkbaar met dat van de interface voor het uitwerken van de constructie.

Van dit deel van de tool heb ik slechts een schetsontwerp gemaakt. Het raamwerk van de tool bevat op dit moment van ontwikkeling te weinig houvast om het ontwerp verder uit te werken.

“Assessment”

Het laatste deel is vormgegeven als laatste stap, hoewel het eigenlijk meer een beoordeling is van het ontwerp. In die zin speelt het bij elke stap op de achtergrond een rol. In het “Assessment”-deel worden alle opmerkingen, waarschuwingen en problemen die er op de diverse gebieden zijn met het ontwerp, bij elkaar gebracht in één enkel overzicht.



Figuur 23 Overzicht van het Assessment deel

De gebruiker krijgt een lijst te zien met alle opmerkingen die door het systeem gegenereerd worden bij de beoordeling van het ontwerp. Dat kan variëren van evaluerende opmerkingen tot het signaleren van onvolkomenheden die absoluut opgelost moeten worden.

Elke opmerking kan aangeklikt worden voor meer informatie en voor een directe link naar de geëigende plek (interface) om het probleem te verhelpen.

Verantwoording

De eerste schetsen voor de interface zoals die in dit hoofdstuk heb beschreven heb ik gemaakt voordat ik begon met het programmeren aan het prototype voor de tool. De uitwerking ervan heb ik gaandeweg gedaan. Het is bij een prototype vanzelfsprekend dat het ontwerp continu herzien wordt, maar in dit geval heeft het ontwerp van de interface ook gaandeweg gestalte gekregen omdat het beeld van latere stappen voor een belangrijk deel ontstond tijdens het werken aan voorgaande stappen. Zeker ook daar waar het ging om de grens tussen twee stappen en aansluiting op de omliggende stappen. Daarbij was het ook van belang om steeds te evalueren of er een verschil was en waaruit dat verschil dan bestond als een stap begonnen werd vanuit een vorige stap of dat er later naar werd teruggekeerd.

Ik heb bij het ontwerpen van de interface gebruik gemaakt van de inzichten die ik gaandeweg opdeed. Daarnaast heb ik doorlopend zelf simulaties en tests uitgevoerd, waarbij ik verschillende scenario's probeerde te toetsen. Tenslotte heb ik ook gebruik gemaakt van inzichten en ideeën die ik kon opdoen door verschillende casussen voor te leggen aan mijn mentoren, collega-studenten en bekenden met een bouwkunde of ICT-achtergrond. Dit is een cyclisch proces, waarbij er een parallel te trekken is naar het proces dat de gebruiker van mijn tool doorloopt.

Daarnaast heb ik gebruik gemaakt van enkele bronnen op het gebied van interface ontwerp. De meeste daarvan zijn online bronnen: posts in weblogs die zich bezighouden met dit onderwerp en waar ik door de jaren heen de nodige kennis heb opgedaan. Daarnaast kon ik ook gebruik maken van de ervaring die ik de afgelopen 10 jaar heb opgedaan met het ontwerpen van websites, waar de interface ook een belangrijke rol speelt.

Ontwikkelingen

Tijdens mijn onderzoek heeft de ontwikkeling aan Maya ook niet stilgestaan. Op de valreep is er de mogelijkheid in Maya gekomen voor ondersteuning van “QT” – een ‘crossplatform’ interface framework. Op dit moment ben ik in de interface gebonden aan de mogelijkheden en bouwblokken die Maya biedt; QT geeft de mogelijkheid om de interface uit te breiden met eigen functionaliteit en zelf bouwblokken voor de interface te programmeren.

Op grond van een korte screening lijkt het de moeite waard te onderzoeken of QT een bijdrage kan leveren in de verdere ontwikkeling van mijn tool.

8. Onder de motorkap

De tool bevat diverse onderdelen “onder de motorkap” die de moeite waard zijn om nader toe te lichten. Het gaat hier om deeloplossingen en functies die ik ter ondersteuning van de tool heb ontwikkeld en die achter de functionaliteit van de tool schuilgaan. In dit hoofdstuk neem ik alvast een voorschot op de beschrijving van het prototype in het hoofdstuk 10 door een beknopt overzicht te geven van de belangrijkste onderdelen die aan het prototype ten grondslag liggen en een basis vormen voor de functionaliteit in het gerealiseerde prototype.

Area-controlled volume

Een van de uitgangspunten is dat de ontwerper werkt op basis van het programma van eisen. In de eerste fase van het ontwerpproces gaat het dan hoofdzakelijk om de te realiseren oppervlaktes van het programma. Om de gebruiker werk uit handen te nemen en niet zelf de oppervlaktes te hoeven laten controleren, heb ik een uitbreiding gedaan op de standaard volumes, kubussen in dit geval, die in Maya aanwezig zijn. Ik heb ervoor gezorgd dat het grondoppervlak van de kubus steeds constant blijft als de afmetingen in een richting aangepast worden.

Hiervoor heb ik gebruik gemaakt van een combinatie van een standaard kubus en een controle-object (een Maya Locator). De controller heeft een attribuut voor oppervlakte dat via een expression vertaald wordt naar een lengte en een breedte. Deze attributen zijn gekoppeld aan de invoer van de gewone kubus, waardoor deze altijd een lengte en breedte heeft die een constant oppervlak vormen.

Het functioneren is afhankelijk van de selectie van het juiste object - het zijn er immers twee (feitelijk zelfs drie). Om te voorkomen dat de gebruiker per ongeluk het verkeerde object bewerkt, heb ik zogenaamde scriptjobs gemaakt die dit geheel transparant en op de achtergrond in goede banen leiden. Ik kom in een volgende paragraaf nog terug op de scriptjobs.

Dimensions

Een veel gehoorde klacht van studenten over Maya is dat ze het lastig vinden om de grootte van objecten te bepalen, omdat er standaard geen maatlijnen bij een object getoond worden. Ik vond dit een zo groot bezwaar, dat ik er hoge prioriteit aan heb gegeven om hiervoor een oplossing te ontwikkelen.

Het is me uiteindelijk gelukt om objecten te voorzien van kenmerkende maatlijnen. Deze kunnen zowel voor alle objecten tegelijk, als dynamisch voor alleen het geselecteerde object getoond worden. Dat laatste komt de overzichtelijkheid zeer ten goede en verdient daarom normaalgesproken de voorkeur.

Het is tevens mogelijk om een maatlijn aan te klikken. Er verschijnt dan een pop-up venster die vraagt om een waarde voor de geselecteerde maatlijn. De nieuwe waarde wordt daarna direct verwerkt in het object.

Snap tools

Maya biedt standaard diverse opties om te ‘snappen’. Dit kan ik het beste beschrijven als het magnetisch verspringen naar bepaalde referentiepunten. Hiermee wordt ervoor gezorgd dat objecten netjes op elkaar aansluiten of op bijvoorbeeld een grid.

Bij het verplaatsen van objecten werkt Maya echter altijd vanuit het referentiepunt (pivot point) van een object. Hierdoor is het vaak nodig om twee handelingen uit te voeren om een zijde van een object tegen een zijde van een ander object te plaatsen: eerst het referentiepunt op de juiste plek zetten en vervolgens het object verplaatsen. Voor de geoefende Maya-gebruiker is dit niet zo'n probleem, maar een beetje omslachtig is het wel als je snel wat simpele volumes wilt rondschuiven en rangschikken.

Daarom heb ik voor de tool een op maat gemaakte snap-functie gemaakt. Als een volume wordt verplaatst, beoordeelt het script de nieuwe positie en wordt er gekeken of er in de buurt gelegen objecten zijn waarop aangesloten kan worden. De maximale afstand hiervoor is instelbaar. Als er binnen de maximale afstand van een zijde een referentie – een zijde van een ander object – gevonden wordt, dan wordt de grove verplaatsing verfijnd, zodat het object netjes aansluit.

Deze functie wordt ook gebruikt bij het uitlijnen van zijdes van een volume op het grid.

Script jobs

De tool controleert en beoordeelt doorlopend op de achtergrond de veranderingen die de gebruiker aanbrengt. Ik heb getracht om dit zoveel mogelijk automatisch plaats te laten vinden en ervoor te zorgen dat de gebruiker op het juiste moment de juiste gegevens, keuzes of meldingen krijgt.

Hiervoor maak ik gebruik van zogenaamde scriptjobs in Maya. Scriptjobs zijn handelingen die onder gestelde condities uitgevoerd kunnen worden. Om een voorbeeld te geven: het is mogelijk om een bepaalde functie uit te voeren zodra een object geselecteerd wordt, een attribuut gewijzigd wordt of een deel van de interface gewijzigd of door de gebruiker weggeklikt wordt.

Via speciale functies worden dergelijke situaties doorlopend door het script op de achtergrond gevolgd en beoordeeld. Als een gebruiker per ongeluk het 'verkeerde' object selecteert, wordt dit automatisch door het script gecorrigeerd. Ook de snapfunctie maakt gebruik van scriptjobs om te bekijken of een object verplaatst wordt.

Datastructuur

Een belangrijk aspect van de tool is het beheren van informatie, data. Dit reikt van opmerkingen en annotaties tot relaties tussen objecten tot gegevens over onderdelen van het gebouw. Om van dat laatste een voorbeeld te geven: alle constructie-elementen die worden gegenereerd bezitten specifieke attributen met gegevens over type, afmetingen, samenstelling, etc. Een liggerelement bevat ook gegevens over de bijbehorende kolommen en zou bijvoorbeeld ook gegevens over specifieke belastingen kunnen bevatten.

Daarnaast is er nog een hogere categorie: het 'class' attribuut waarmee ik van elk Maya object dat door of voor de tool gegenereerd wordt aangeeft om wat voor type object het gaat. Dat wil zeggen: wat de functie is binnen de tool. Op basis daarvan wordt bepaald welke data er opgeslagen of uitgelezen kan worden en welke tools en functies er gebruikt moeten worden om het object te bewerken.

Om het werken met deze attributen makkelijker te maken, heb ik voor dit prototype een bibliotheek met functies gemaakt, waardoor ik snel en efficiënt deze data kan opvragen en bewerken. Ik wil hier de opmerking bij plaatsen dat dit in een objectgeoriënteerd script grotendeels vervangen wordt door de intrinsieke object-attribuut-methode eigenschappen.

9. Ontwikkeling van de Tool

Voordat ik in het volgende hoofdstuk overga tot de beschrijving van het uiteindelijk gerealiseerde prototype, maak ik in dit hoofdstuk een korte, maar niet onbelangrijke zijstap naar een ander deelaspect van mijn onderzoek.

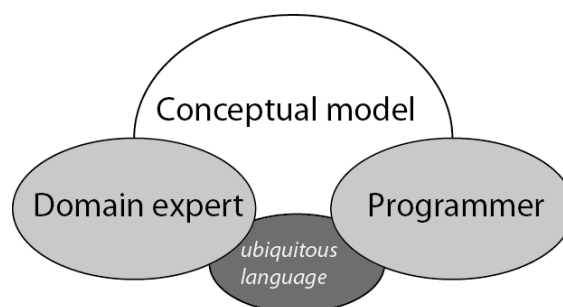
Een belangrijk onderdeel van het maken van een prototype voor de tool in het programmeren ervan. Ik heb de nodige ervaring met het schrijven van tools voor Maya. Dat is echter beperkt gebleven tot betrekkelijk eenvoudige tools met een vrij eenvoudig en rechtlijnig doel en gebruik. Dit project is in die zin een grote, nieuwe stap. Daarom heb ik ook wat tijd gestoken in het bestuderen van relevante informatie op het gebied van het programmeren van tools voor complexe(re) toepassingsdomeinen.

Omdat dit geen doel op zichzelf is van mijn onderzoek en hoofdzakelijk ter voorbereiding heeft gediend, besteed ik er hier in dit hoofdstuk kort enige aandacht aan. Vooral omdat het me persoonlijk zeer interesseert, maar ik ook al snel in de gaten kreeg dat dit project nog in een dergelijk vroeg stadium van ontwikkeling is, dat ik de opgedane kennis en inzichten slechts beperkt toe kon passen. Voor een eventueel vervolg is het echter wel interessant en ook daarom vermeldenswaard.

Omdat het uiteindelijk in mindere mate van belang is geweest ter voorbereiding op het ontwikkelen van de tool, maar vooral interessant is in de terugblik op mijn onderzoek heb ik dit hoofdstuk dus ook na de hoofdstukken over de ontwikkeling van de tool geplaatst.

Domain driven design en eXtreme Programming

Domain Driven Design (DDD) stelt een conceptueel model centraal dat het probleem beschrijft. Kern bij DDD is een nauwe, creatieve samenwerking tussen programmeurs en domein experts, waarbij voorgeschreven wordt dat beide groepen dezelfde taal hanteren (*ubiquitous language*). Verkenning en experimentatie staan voorop bij het ontwikkelen van software. Het model en de *ubiquitous language* worden voortdurend herzien. (Evans 2003, p.24)

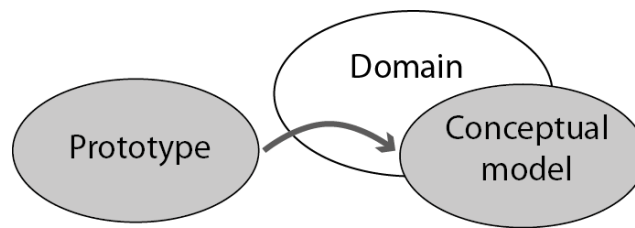


Figuur 24 Domain Driven Design

eXtreme Programming (XP) is een methodologie voor het ontwikkelen van software die gericht is op het bereiken van een hoge kwaliteit en nauwe aansluiting op het toepassingsdomein. (Beck 2004)

Een conceptueel model staat centraal, waarbij XP ervan uitgaat dat het model en daarmee het ontwerp van de software ontwikkeld wordt door het regelmatig herzien van de software en het frequent uitbrengen van nieuwe versies. Dit in tegenstelling tot klassieker methodes waarbij er veel voorbereiding genomen wordt voor het uitdenken van een model en ontwerp voor de software. Hierdoor worden er veel minder frequent versies uitgebracht en is de kans groot dat de

omstandigheden, wensen of eisen intussen veranderd zijn en de software niet goed aansluit op het toepassingsdomein.



Figuur 25 Prototype als basis voor een conceptueel model

Domain Driven Design en eXtreme Programming bieden interessante handvatten voor het ontwikkelen van een dergelijke tool, alleen vereisen ze een duidelijk inzicht in het domein. Op dit moment is het toepassingsdomein echter nog onvoldoende gedefinieerd. Het opstellen van een model van het domein zou op zichzelf al een compleet onderzoek in beslag nemen. Dat is niet het doel van dit onderzoek, vandaar dat ik deze methodologie van harte aanbeveel voor een tool waarvan de ontwikkeling zich in een verder gevorderd stadium bevindt. Het prototype dat ik in dit onderzoek ontwikkel kan echter goed als basis dienen voor het opstellen van een model, zoals weergegeven in Figuur 25.

Complexiteit

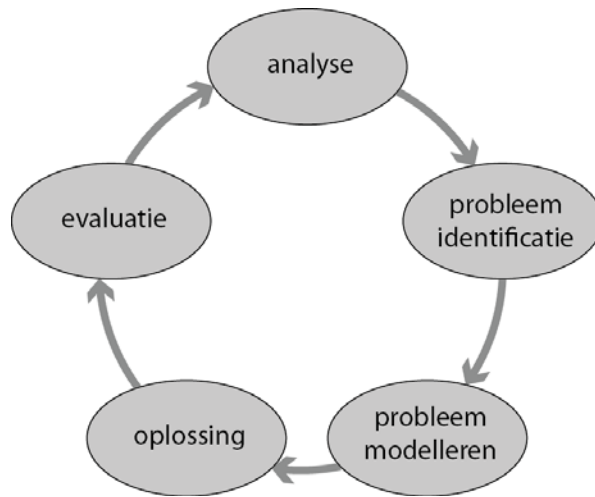
Een kort woord over complexiteit: de complexiteit van de tool, voor wat betreft het programmeren, wordt gevormd door een combinatie van flexibiliteit en hoe specifiek de taak van een onderdeel is.

Aan het begin van het ontwerpproces zijn er nog maar heel weinig randvoorwaarden. Die worden gedurende het proces steeds verder gespecificeerd en toegevoegd als gevolg van genomen beslissingen. Aan het begin van het proces is er dus behoefte aan een hoge mate van flexibiliteit en is de complexiteit (mate van specificiteit) relatief hoog. Bij latere stappen worden de taken steeds specifiek door het grotere aantal randvoorwaarden.

Je zou dus verwachten dat realiseren van de functionaliteit voor de latere stappen in het proces steeds eenvoudiger zou moeten worden. Maar dan zou je de combinatie van functionaliteit buiten beschouwing laten. De functies zijn weliswaar specifiek, maar moeten aansluiten op een hele schakeling van mogelijke combinaties uit voorgaande stappen. Er zijn dus steeds meer functies nodig. Elk van de functies op zichzelf is vaak eenvoudiger te ontwerpen, maar het worden er steeds meer en de reciprociteit wordt rechtevenredig groter.

Design by prototyping

Het proces van het programmeren van de tool lijkt op het eerder aangehaalde eXtreme Programming. Alleen dan in een prototyping fase. Ik heb het iteratief proces van het uitbreiden, aanpassen en testen van de tool gebruikt als hulpmiddel om te komen tot een ontwerp. Hierbij is er een belangrijke parallel te trekken tussen het ontwerpen en ontwikkelen van ICT tools en het maken van een bouwkundig ontwerp.



Figuur 26 Cyclisch ontwerpproces

Dit bleek het beste te werken voor het ontwerpen en ontwikkelen van een tool die ingezet moet worden aan het begin van het ontwerpproces. Er is geen eenduidige manier om de gestelde taak te volbrengen. Deze manier van ontwikkelen kan een vlucht nemen zodra het stadium bereikt wordt waarin de tool (grootschalig) getest kan worden. Dat bedoel ik zowel positief als negatief. Het voordeel van veel feedback van gebruikers is dat er voldoende materiaal is om de tool verder te kunnen ontwikkelen. Het risico schuilt hem in het verzand raken in eindeloze uitbreidingen van flexibiliteit, waardoor de tool te complex wordt. Hiervoor moet je als ontwikkelaar dus waken.

Procedureel vs. object georiënteerd

Er zijn twee hoofdstromingen binnen het programmeren van software: procedureel programmeren en objectgeoriënteerd programmeren. Maya biedt ondersteuning voor beide aanpakken. MEL is een procedurele programmeertaal; MEL is een op C gebaseerde scripting taal die speciaal voor Maya is ontwikkeld. Daarnaast is sinds enkele jaren ook ondersteuning voor Python opgenomen in Maya; Python is een algemene, open-source objectgeoriënteerde programmeertaal met brede ondersteuning in de computerwereld.

Tot kort geleden was er nog een groot nadeel bij het gebruik van Python in Maya. Maya zelf is ook objectgeoriënteerd van opzet (geschreven in C++ met een open API). Het was alleen niet mogelijk om direct vanuit Python de Maya objecten te benaderen. Met de integratie van PyMEL vanaf Maya versie 2011 is dat probleem grotendeel verholpen.

Ik heb er voor gekozen om in MEL te werken, aangezien ik daar al ruime ervaring mee had. Dat maakte het dus mogelijk om snel en doelmatig te werken aan een prototype. Daarnaast werpt een objectgeoriënteerde programmeertaal vooral zijn vruchten af als er al een functioneel en datamodel beschikbaar is waarop de objecten en methoden gebaseerd kunnen worden. Dat was in dit project niet het geval. Beide redenen hebben tot mijn keuze voor MEL geleid.

Tijdens de ontwikkeling ben ik wel regelmatig tegen situaties aangelopen waar het voor mij duidelijk was dat objectgeoriënteerd scripten grote voordelen zou kunnen bieden. Bij mijn aanbevelingen kom ik hier op terug.

10. Prototype van de tool

In het voorgaande hoofdstuk is een deel van de functionaliteit al impliciet aan de orde gekomen bij het beschrijven van het ontwerp voor de interface. In dit hoofdstuk ga ik dieper in op de functionaliteit die achter het ontwerp en de interface schuilgaat. Vervolgens beschrijf ik het gerealiseerde prototype, de functionaliteit ervan en of dit voldoet aan de eisen die ik had geformuleerd. Tot slot kom ik terug op de relatie met ICT.

Functionaliteit van het prototype

In het vorige hoofdstuk is de werking al voor een belangrijk deel duidelijk geworden. In deze paragraaf beschrijf ik enkele functionele aspecten van de tool die zich meer op de achtergrond afspelen. Hieraan zal ik in de daarop volgende paragrafen over de gerealiseerde functionaliteit regelmatig refereren.

Program Volumes

Het uitgangspunt van de tool is om te werken met volumes op basis van een programma van eisen voor het ontwerp. Hiervoor heb ik speciale objectstructuren ontwikkeld in Maya, waardoor er met een aantal bijzondere eigenschappen gewerkt kan worden die op die manier niet standaard in Maya aanwezig zijn. Ik heb deze echter wel kunnen realiseren door gebruik te maken van al bestaande mogelijkheden en deze te koppelen.

De Program Volumes hebben als belangrijkste eigenschap dat de afmetingen volgen uit een vastgesteld grondoppervlak. Bij het veranderen van een lengte wordt de andere grondmaat van het object, de breedte, automatisch gewijzigd zodat het grondoppervlak gelijk blijft.

Omdat het werken met de volumes zo eenvoudig en intuïtief mogelijk moet zijn, heb ik ervoor gezorgd dat de volumes op meerdere manieren bewerkt kunnen worden. De afmetingen kunnen op drie manier aangepast worden:

1. door aanpassing van de eigenschappen in de toolbox (numeriek);
2. door het aanklikken van een maatlijn die in de modelweergave langs elke zijde getoond wordt en het invoeren van een nieuwe maat (numeriek);
3. via het werken met de schaal-tool. Deze laatste optie biedt de mogelijkheid om visueel te werken zonder meteen al met maatvoering bezig te hoeven zijn; er kan dan meer naar verhoudingen gekeken worden.

Door het werken met volumes krijgt de gebruiker direct een duidelijk beeld van het gehele ontwerp in drie dimensies. Dit biedt de mogelijkheid om het schetsontwerp op diverse aspecten van ruimtelijkheid en ruimtelijke verhoudingen te beoordelen.

Plaatsing en aansluiting

Het is belangrijk dat de volumes goed op elkaar aansluiten. Maya biedt weliswaar enkele “snap”-tools (vergelijkbaar met een soort magneetwerking), maar die zijn ontoereikend en niet intuïtief genoeg. Daarom heb ik een sterk verbeterde snap functionaliteit ontwikkeld. Hierdoor hoeft de gebruiker de volumes slechts globaal te plaatsen, waarna de tool ervoor zorgt dat het volume met de zijden netjes aansluit op naastgelegen volumes. Dit vereenvoudigt de volgende stap, waarin de volumes uitgelijnd moeten worden op een grid dat als basis dient voor de constructie. Uiteraard kan

deze functie ook uitgeschakeld worden als er geen behoefte aan is of als dat zelfs zou leiden tot ongewenste resultaten.

Ook voor het uitlijnen van volumes op het grid heb ik ervoor gezorgd dat de tool zo gebruiksvriendelijk mogelijk werd. Hiervoor heb ik een aantal functies geprogrammeerd die het mogelijk maken dergelijke processen zoveel mogelijk te automatiseren. Bij het programmeren programmeren leidt dat soms tot conflicterende eisen en blijkt het lastig te kiezen volgens welke logica een bepaalde beslissing voorgesteld of voorgenomen moet worden. In alle gevallen heeft de gebruiker de regie en kan hij bepalen hoe de tool deze taak uitvoert. In gevallen waar het duidelijk is welke optie het meest relevant is, wordt deze door de tool voorgesteld, maar houdt de gebruiker dus nog de mogelijkheid dit te veranderen. Mijn doel was de gebruiker zo min mogelijk lastig te hoeven vallen met vragen waarop de antwoorden voor de hand en zoveel mogelijk van dienst te zijn door processen waar mogelijk te automatiseren.

Constructie

Voor het vastleggen van een constructie wordt geput uit in de tool vastgelegde kennis op het gebied van sterkteberekeningen (vooralsnog vuistregels) en aspecten die specifiek voor glas zijn (zie hoofdstuk 3). Ook hierbij geldt dat de vuistregels en andere logica de basis vormen voor een voorstel voor een constructie op basis van de gemaakte keuze voor een constructietype en de randvoorwaarden. In de structuur van het prototype zijn naast de functies voor de berekeningen aan de hand van vuistregels, de voorzieningen getroffen om uitgebreidere berekeningen mogelijk te maken. In het model wordt per constructie-element informatie opgeslagen met betrekking tot de exacte samenstelling en de relatie tot andere constructie-elementen.

In dit geval ben ik echter ook bewust terughoudend geweest in het automatisch nemen of voorstellen van oplossingen (bijvoorbeeld als een ligger langer is dan toegestaan), omdat hierin ook een belangrijk leerdoel ligt opgesloten. Het is de bedoeling dat de student zich bewust is van de gevolgen van gemaakte keuzes en ook zelf nadenkt over oplossingen en oplossingsrichtingen. De tool vormt in dat geval meer een vangnet. Hij geeft alleen aan als iets onmogelijk is en welke alternatieven er zijn.

Buiten een lijst met constructie-elementen is ook het visuele aspect van de constructie belangrijk. Vandaar dat er ook een (versimpelde) weergave van de constructie in 3D in het ontwerp gegenereerd wordt zodra de gebruiker een constructie kiest en verder specificeert. Deze kan door de ontwerper in de modelweergave direct beoordeeld worden.

Realisatie van het prototype

Voorlopig gaat het hier om een prototype van de digitale tool met beperkte functionaliteit. Het programma van eisen en het conceptueel ontwerp vormden het uitgangspunt. Het prototype is niet alleen een eindproduct, het is bovenal een middel geweest voor het ontwikkelen van de tool en op die manier heeft het bijgedragen aan het verkrijgen van inzichten en mogelijkheden ervan.

Het ontwerp van de tool is grotendeels tot stand gekomen door middel van een cyclisch, iteratief proces waarin ik nieuwe ideeën in het prototype verwerkte om ze te evalueren. De resultaten van het doorlopend testen en evalueren vormden een basis om ideeën te herzien en waren een voedingsbodem voor nieuwe ideeën. De tool is in die zin de motor voor zijn eigen ontwikkeling. Deze werkwijze is in de wereld van het programmeren niet ongebruikelijk voor de verkenningsfase en vroege stadia van het ontwikkelen van software tools.

Als het proces waarin de tool gebruikt gaat worden nog niet bestaat of nog niet helder gedefinieerd

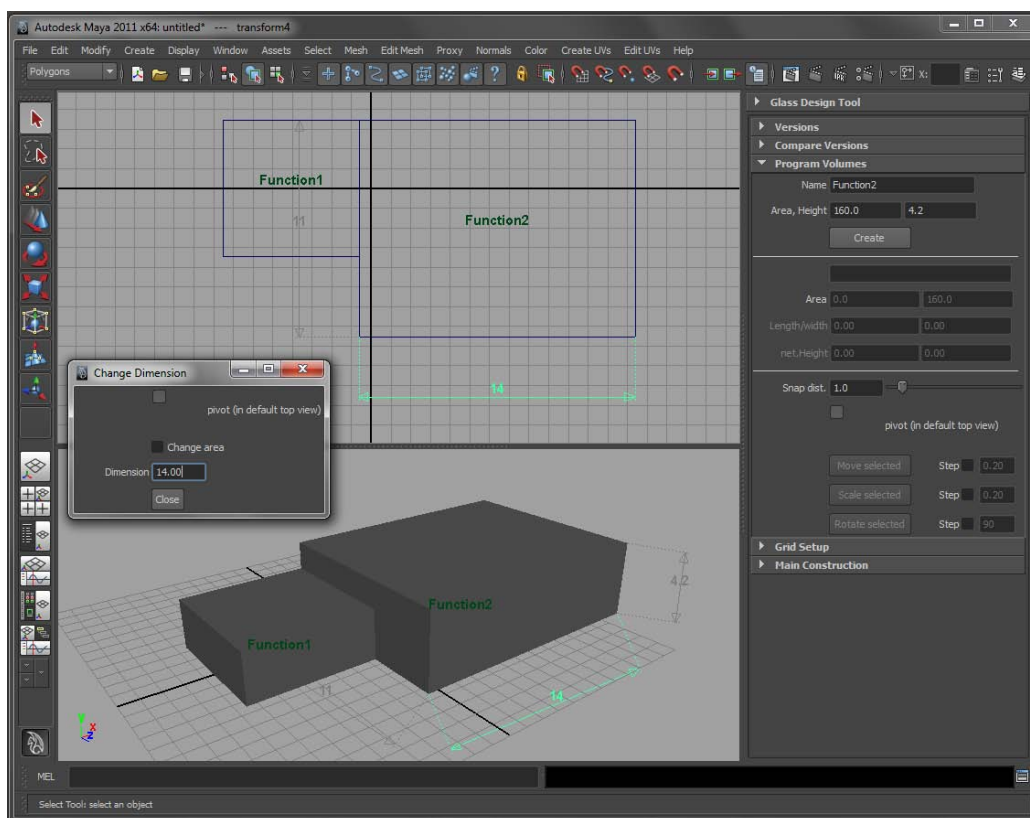
is, is het ook moeilijk te voorspellen hoe de tool gebruikt moet worden. Dat betekent dus dat het moeilijk is vast te stellen aan welke gebruikseisen hij moet voldoen en wat het achterliggende conceptueel model is. Vandaar dat bij het opstarten van dergelijk projecten vaak een aantal verschillende prototypes en de daarbij behorende iteraties gemaakt worden, voordat een uitgebreid model gemaakt kan worden en men over kan gaan op geavanceerdere programmeertechnieken. Dat heb ik in hoofdstuk 9 al beschreven.

Dat wat betreft het ‘zelfontwikkelde’ karakter van de tool. Daarnaast leidt het ontwikkelingsproces ook tot inzichten in de uiteindelijke gebruiksomgeving: met name op het gebied van ICT in het onderwijs in het algemeen en het gebruik en ontwikkeling ervan binnen de Bouwkunde in het bijzonder. Hier kom ik in de volgende paragraaf op terug.

Tot slot kan het prototype dienen als basis voor een verder onderzoek en ontwikkeling van een conceptueel model. Hieraan refereerde ik hiervoor al kort.

Volumes en grid

Het gerealiseerde prototype bevat alle functionaliteit voor het maken van een ontwerp bestaande uit volumes en biedt de nodige flexibiliteit: gebruikers kunnen op diverse manieren met de volumes werken om het ontwerp tot stand te brengen. Ik heb diverse toevoegingen op Maya gemaakt voor deze fase van het gebruik van de tool: Area-controlled volume, Dimensions, Snap tools en Script jobs, allen beschreven in hoofdstuk 8. Deze zorgen ervoor dat de tool met minimale kennis van Maya te gebruiken is, wat een van de gestelde eisen was.

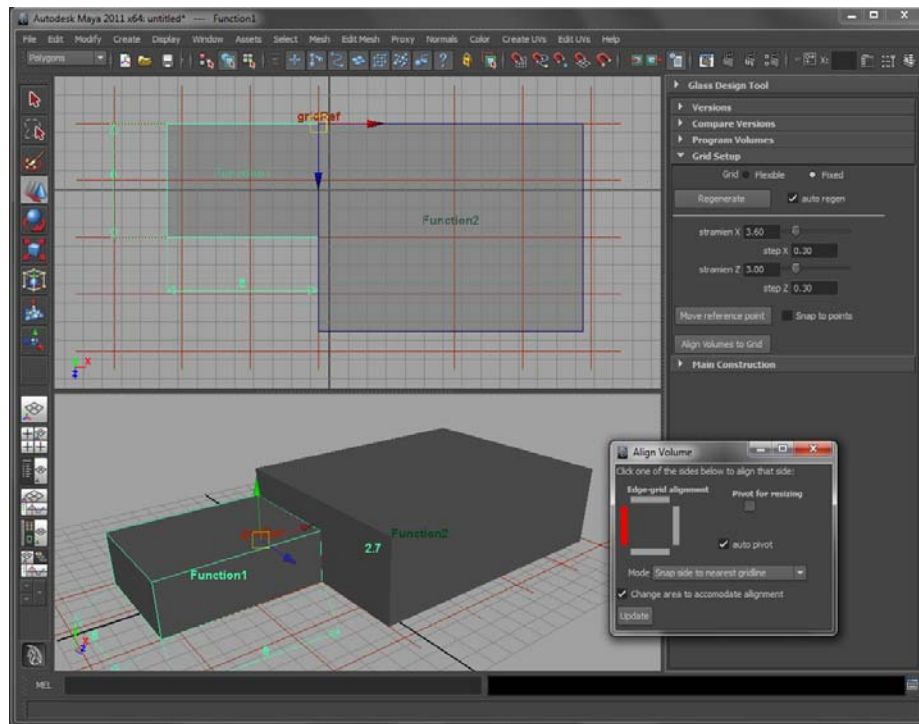


Figuur 27 Plaatsen van volumes in de tool

De gebruiker ziet het ontwerp tegelijkertijd in een 2D plattegrondweergave en een 3D perspectiefweergave, zoals te zien is in Figuur 27. De scriptjobs zorgen ervoor dat de afmetingen automatisch verborgen (kunnen) worden om de totale hoeveelheid informatie in het scherm te

beperken zodat het overzichtelijk blijft. De gebruiker kan op intuïtieve wijze de afmetingen van de volumes aanpassen. In het bovenstaande figuur is te zien hoe een afmeting aangepast kan worden door op een specifieke maatlijn te klikken.

Alvorens er een draagconstructie gegenereerd wordt, moet de gebruiker een stramien (grid) maken voor de draagconstructie. De tool biedt hiervoor geautomatiseerde functies, waardoor er snel verschillende varianten gegenereerd en onderzocht kunnen worden. Het genereren van het constructiestramien is een belangrijke stap in het proces om in het ontwerp te streven naar standaardisatie in de afmetingen van de constructie-elementen.

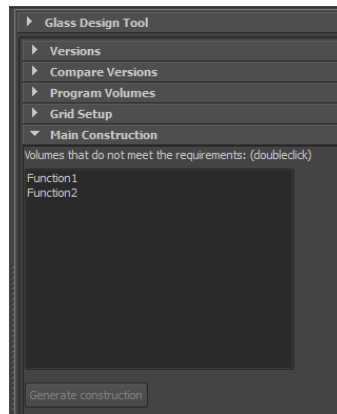


Figuur 28 Aanmaken van het constructiegrid

In Figuur 28 is de interface te zien waarmee de gebruiker het grid kan aanmaken. In beide richtingen kan de afstand van het stramien aangepast worden. Het resultaat is direct te zien: de lijnen worden automatisch gegenereerd door de tool.

Het venster “Align Volume” in bovenstaand figuur laat zien hoe de gebruiker de uitlijning van het volume op het grid kan controleren en aanpassen. De tool laat zien welke van de zijden niet aansluit op het stramien en geeft dit weer met een rode lijn in het schema. De gebruiker heeft de mogelijkheid om deze zijde automatisch naar de dichtstbijzijnde stramienlijn te verplaatsen. Daarbij houdt de tool het oppervlakte constant, tenzij het de laatste niet-uitgelijnde zijde betreft en de gebruiker aangeeft dat het oppervlak mag veranderen.

Voordat de gebruiker verder kan met het genereren van een constructie, wordt opnieuw gecontroleerd of alle volumes uitgelijnd zijn op het grid. De gebruiker krijgt een lijst te zien met volumes die nog niet voldoen. Dit overzicht is getoond in onderstaand figuur.

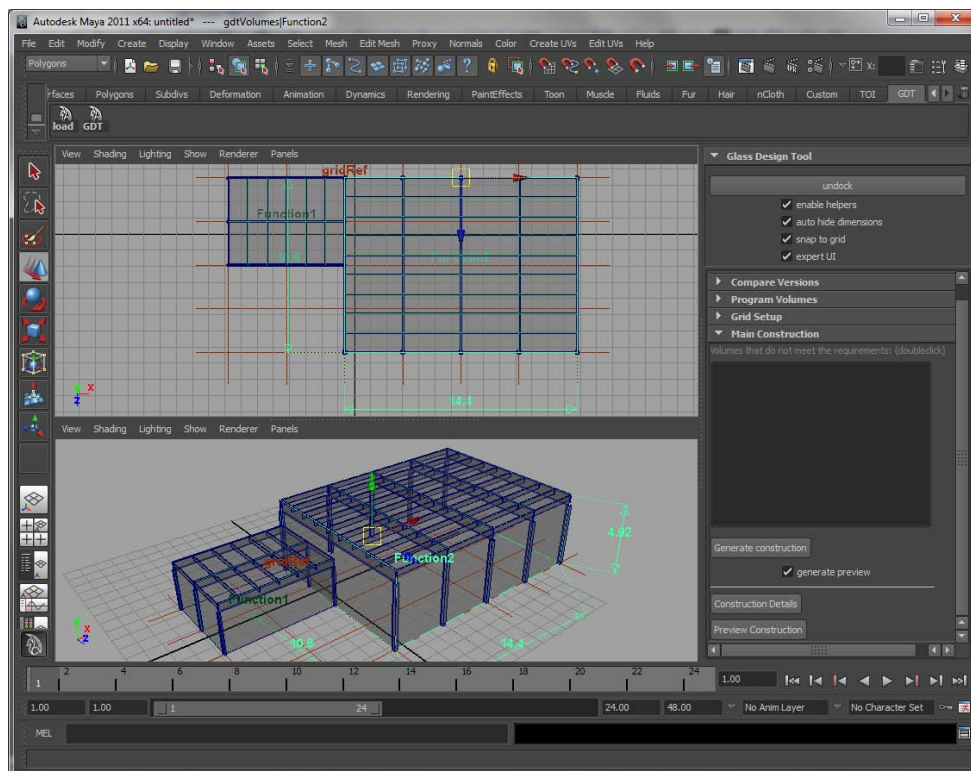


Figuur 29 Verificatie van uitlijning op het constructiegrid

Constructie en elementen

Voor de constructie heb ik me in het prototype beperkt tot portalen van twee kolommen en een ligger. Dit biedt al genoeg mogelijkheden voor het ontwikkelen en toetsen van de functionaliteit van de tool voor het uitwerken van de constructie en de specifieke eisen die er aan de constructie-elementen worden gesteld (zie hoofdstuk 3). De tool is al voorbereid op twee belangrijke varianten daarvan: drie kolommen met één ligger (doorlopend) en portalen met meerdere velden (bv: drie kolommen met twee liggers), zodat deze functionaliteit in een later stadium eenvoudig toegevoegd kan worden.

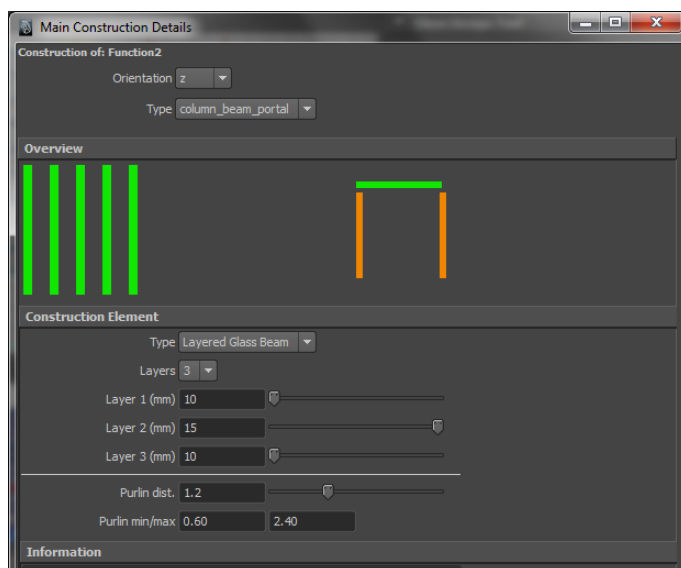
De gebruiker kan de overspanningsrichting per volume wijzigen. Het resultaat wordt direct in het 3D-model inzichtelijk gemaakt.



Figuur 30 Voorbeeld van een gegenereerde constructie

Ook kan hij de dimensionering van de liggers en kolommen in het prototype beïnvloeden door het de overspanningslengte en grid-afstand te veranderen. Daarnaast kan er gevarieerd worden met de samenstelling (dikte) van bijvoorbeeld de liggers. De daarvoor benodigde gegevens liggen in het model opgeslagen.

Onderstaand figuur laat dat deel van de tool zien waarmee de gebruiker de constructie kan aanpassen en controleren. In het deel “Overview” wordt aan de linker kant een schematisch overzicht gegeven van de liggers in plattegrond-weergave. De groene balken laten zien of de aangegeven liggers voldoen aan de eisen. In dit geval is dat zo want groen geeft aan dat er geen opmerkingen zijn. Oranje geeft aan dat er wel opmerkingen zijn, maar dat de gekozen oplossing in principe mogelijk is. Rood geeft aan dat de gekozen oplossing niet voldoet aan de eisen.



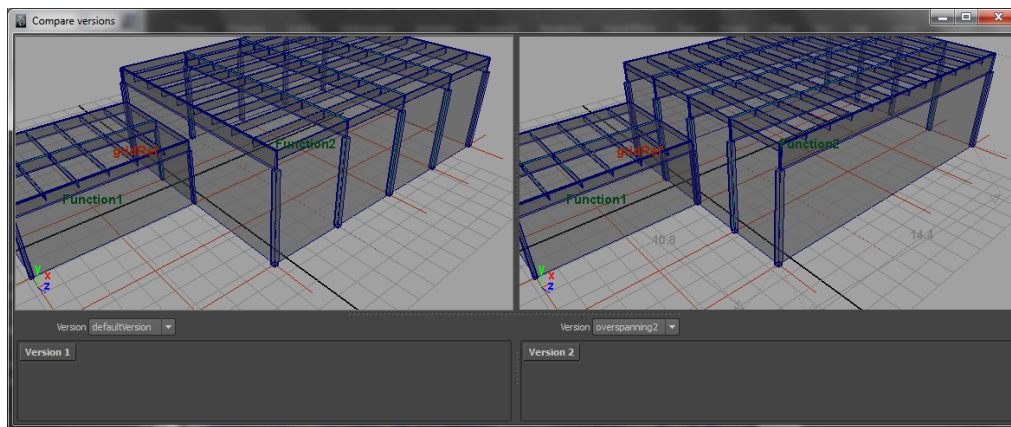
Figuur 31 Interface voor het controleren en aanpassen van de constructie

Rechts naast het overzicht van de liggers verschijnt eenzelfde type schematische weergave van een geselecteerd portaal (in aanzicht), waarin te zien is of de kolommen voldoen aan de eisen. Die zijn oranje en dat betekent dus dat de gebruiker de onderliggende opmerkingen moet bekijken.

Hij kan een constructie-element aanklikken om de eigenschappen te specificeren. De tool rekent eventuele wijzigingen direct door en geeft direct aan of de gekozen oplossing voldoet.

Varianten

De gebruiker kan nieuwe varianten, in de tool aangeduid als ‘versions’, maken op basis van bestaande varianten of hij kan met een schone lei beginnen. Als hij ervoor kiest om een variant te maken, zorgt de tool ervoor dat er automatisch een volledige kopie gemaakt wordt van het ontwerp. De gebruiker kan op elk moment heen en weer schakelen tussen de verschillende versies. Daarnaast is er de mogelijkheid om twee varianten naast elkaar te tonen om deze te kunnen vergelijken, zoals te zien is in Figuur 32.



Figuur 32 Vergelijken van twee varianten

De tool bevat de benodigde datastructuren om een volledige versiegeschiedenis op te bouwen, zodat de gebruiker kan zien op welke variant een variant is gebaseerd en welke notities daar bij zijn gemaakt.

Bijdrage van ICT

Ik had bij aanvang van dit project het idee dat ICT goede middelen en oplossingen kon bieden voor het gesignaleerde problemen, namelijk dat specifieke bouwtechnische kennis ontbreekt, studenten te weinig variantenonderzoek op technische aspecten doen en ook ontwerpdocenten niet altijd over de benodigde technische kennis om de studenten op alle technische aspecten voldoende te kunnen begeleiden of te beoordelen.

Met de ontwikkeling van het prototype ben ik gesterkt in die opvattingen. Ik ben er naar mijn mening op verschillende (deel)gebieden in geslaagd om de gebruiker met behulp van ICT te kunnen faciliteren. Ik licht hier drie van de belangrijkste gebieden toe:

Informatie

De tool maakt het mogelijk om een grote hoeveelheid aan informatie te beheren. In het model waar de gebruiker aan werkt ligt een schat aan informatie opgeslagen, namelijk het volledige ontwerp in 3D, de kengetallen over het ontwerp en de informatie over het proces. Naast deze informatie biedt het de gebruiker ook de mogelijkheid om aanvullende informatie te genereren over het ontwerp, zoals tekeningen en perspectiefbeelden.

De interface en de logica (functies) van de tools maken het mogelijk om de juiste informatie op het juiste moment te ontsluiten. Er is een raamwerk waarin alle benodigde informatie in het model opgeslagen en vervolgens ook weer opgevraagd kan worden. Bovendien bevat het model dat door de tool opgebouwd wordt op een gestructureerde manier informatie over het programma van eisen en de relatie tussen constructie-elementen en specificaties van componenten. Hiervoor heb ik een systeem ontworpen dat de onderdelen van het ontwerp onderverdeelt in klassen en per klasse specifieke informatie opslaat en ontsluit. Hierdoor is dit op eenvoudige wijze uit te breiden zodra de functionaliteit uitgebreid moet worden.

Daarnaast biedt de tool de mogelijkheid om vakgebiedspecifieke informatie op een gestructureerde manier op te slaan. Denk daarbij aan de functies voor het toetsen van de constructies, waarbij gebruik gemaakt wordt van specifieke informatie over, in dit geval, constructie-elementen uitgevoerd in glas. Kengetallen, formules en toelichtingen kunnen in de tool opgeslagen worden.

Automatiseren

De tool automatiseert een aantal taken, zodat de gebruiker snel en efficiënt kan werken. Hij kan het stramien voor de draagconstructie met een enkele druk op de knop aanpassen en ziet direct het resultaat. Hetzelfde geldt voor het genereren van de draagconstructie: alle kolommen, blaken en gordingen worden automatisch door de tool gegenereerd op basis van de specificaties van de gebruiker. Ook kleine taken, zoals het netjes op elkaar laten aansluiten van volumes en het werken met oppervlaktes van volumes wordt door de tool geautomatiseerd. Hierdoor kan de gebruiker snel verschillende varianten maken en onderzoeken.

Ook het validatieproces is geautomatiseerd: de tool voert continue controles uit en rapporteert deze naar de gebruiker. Dit is voor studenten van belang voor het doen van een degelijk variantenonderzoek, maar helpt ook de docenten bij het beoordelen van het ontwerp.

Intuïtief en flexibel

Vooraf voor het gebruik in het onderwijs als didactisch instrument geldt als eis dat de student minimale voorkennis nodig heeft om met de tool te werken. Hiervoor heb ik diverse voorzieningen getroffen in de tool:

- De maatlijnen die bij de volumes getoond worden zorgen ervoor dat de student op intuïtieve wijze de afmetingen kan aanpassen door de maatlijn aan te klikken die veranderd moet worden en een nieuwe waarde in te voeren. Samen met de eerder beschreven functionaliteit die het grondoppervlak van het volume in principe constant houdt, zorgt dit ervoor dat de gebruiker snel en efficiënt kan werken.
- Maar de tool biedt ook de mogelijkheid om minder vanuit numerieke waarden te werken. De gebruiker kan ook het volume traploos schalen, waarbij het grondoppervlak ook weer constant blijft. Op deze manier kan hij makkelijk vanuit visuele verhoudingen werken.
- Daarnaast is de gehele interface een belangrijk onderdeel: alle stappen worden via de op maat gemaakte interface gestuurd. De student heeft niet of nauwelijks kennis nodig van de (soms nogal complexe) interface van Maya zelf.

11. Conclusies

Ik heb met het ontwerp en de ontwikkeling van de tool veel inzicht gekregen in het ontwerpproces en hoe ik daar als ontwikkelaar van tools een bijdrage aan kan leveren. Het is nuttig om daar in brede zin en buiten wat je van jezelf, je eigen denkproces en manier van werken, weet, nieuwe inzichten in te krijgen. Het heeft me zeer waardevolle kennis over en ervaring met het ontwikkelen van tools in algemene zin opgeleverd, maar in het bijzonder ook over tools die ingezet kunnen worden in het bouwkundig ontwerpproces. De balans tussen automatiseren en het aan de ontwerper laten van keuzes is daar een belangrijk voorbeeld van, waarbij ik ook geleerd hebt dat je de ‘lastige’ problemen – complex(re) problemen die zich niet zo makkelijk in een paar regels code laten oplossen – heel goed door de gebruiker zelf kunt laten oplossen en dat het voldoende is om hem de hulpmiddelen te geven om dat op een efficiënte manier te doen.

Er is een opvallende overeenkomst tussen het ontwerpproces van een bouwkundig ontwerp en het ontwerp van de tool die ik gemaakt heb (Hoofdstuk 9, p. 40). Dat heeft mij niet alleen technische inzichten opgeleverd voor het uiteindelijke prototype, maar ook didactische inzichten. Ik heb nieuwe inzichten vergaard in de manier van denken en werken van studenten. Ook dat laatste is belangrijk voor een tool die in eerste instantie voor het onderwijs ontworpen is. Een van de belangrijkste inzichten is dat een stap in dat proces dat voor mij als programmeur voor de hand liggend is, niet altijd door studenten wordt gemaakt. Dat is een stap tussen het identificeren van het probleem en het vinden van een oplossing: het modelleren van het probleem. Door een probleem grondig te analyseren en de achterliggende logica te vinden, kan je een model maken van het probleem en dat als uitgangspunt gebruiken bij het zoeken naar een geschikte oplossing.

De tool werkt gebruiksvriendelijk en intuïtief, stelt de gebruiker in staat om snel en efficiënt verschillende varianten te ontwikkelen en te vergelijken en biedt een goed raamwerk om alle gewenste informatie op te kunnen slaan, te verwerken en te genereren. Ook is het mogelijk gebleken de specifieke eisen die aan de tool worden gesteld om glas als constructief materiaal te gebruiken, op te nemen. Enerzijds is de specifieke kennis over de afmetingen en samenstelling van de constructie-elementen in de tool verwerkt en kan de gebruiker deze informatie benutten zonder uitgebreide voorkennis op dat gebied. Anderzijds zorgt de tool ervoor dat het ontwerp zoveel mogelijk gerealiseerd kan worden met gestandaardiseerde elementen, wat de haalbaarheid ten goede komt. Op beide punten voert de tool continue controles uit en legt de gebruiker waar nodig keuzes voor. Het doel om specifieke bouwtechnische kennis vroeg in het ontwerpproces te integreren kan hierdoor gerealiseerd worden. De resultaten van de controles van de tool stellen ook de ontwerpdocent in staat om zonder uitgebreide specifieke kennis van glasconstructies het ontwerp op alle aspecten en in samenhang te beoordelen.

In mijn probleemverkenning (pagina 2), heb ik genoemd dat studenten onvoldoende bekend zijn met ontwerpmethodieken waarin bouwtechnische aspecten een integraal onderdeel vormen van het ontwerpproces. Hoewel het in dit onderzoek geen doel was om me specifiek op ontwerpmethodologie te richten, biedt de tool op dit punt een bijdrage aan oplossing van het probleem. De tool laat de student zien dat hij, met de juiste hulpmiddelen, het ontwerpproces zo kan inrichten dat hij ook in de SO-fase bouwtechnische aspecten in het ontwerpproces kan betrekken. En doordat de gebruiker via de tool verschillende varianten bijhoudt en kan vergelijken, is het makkelijker om te reflecteren op het ontwerpproces.

Zoals geformuleerd in de doelstelling moest de tool een werkend prototype worden met beperkte functionaliteit. In het kader van die beperkte functionaliteit heb ik bijvoorbeeld de technische eisen om beelden (renders) en lijntekeningen te genereren niet uitgewerkt. Ik heb dat in dit stadium

achterwege gelaten omdat ik uit eerdere programmeerervaring weet dat die eisen eenvoudig te realiseren zijn. De technische eisen van dit onderdeel vormen dus binnen mijn onderzoek geen onderzoeksitem. Uiteindelijk zal dat onderdeel natuurlijk wel toegevoegd moeten worden als de tool daadwerkelijk in het onderwijs getest moet gaan worden. De nu aanwezige functionaliteit is voldoende om uitspraken te doen over de haalbaarheid en de mogelijkheden van een dergelijk instrument.

Uiteindelijk is er een tool nodig met volledige functionaliteit (en stabiliteit) om uitspraken te kunnen doen over de kwaliteiten bij inzet in het onderwijs. Daarvoor zal het huidige prototype dus eerst verder uitgebreid moeten worden en zijn er nog enkele iteraties nodig waarna de tool op kleine schaal getest kan worden op bugs en andere onvolkomenheden. Pas als alle functionaliteit die in het ontwerp is gespecificeerd aanwezig is en stabiel werkt, kunnen er studenten mee aan de slag in het onderwijs. De tool moet dan ‘fool-proof’ zijn: vrij van software bugs, gehard en vergevend waar het onbedoeld gebruik betreft. Tenslotte moet dan nog onderzocht worden of de tool ook op didactisch gebied voldoet en de verwachte bijdrage levert aan het ontwerponderwijs. Na dit stadium kan pas definitieve implementatie plaatsvinden.

In het kader van de (cyclische) ontwikkeling heb ik zelf continu tests en evaluaties uitgevoerd. Deze zijn echter minder betrouwbaar dan resultaten uit een praktijktest. Enerzijds omdat ze door mijzelf zijn uitgevoerd en ik gedetailleerde kennis en inzichten heb met betrekking tot de tool. Ik ben dus geen goede maatstaf als het gaat om een objectieve meting. Anderzijds omdat het de inzichten van een enkel individu betreft. Daarom heb ik de tool ook met anderen, zij het in zeker zin ook ‘experts’, besproken. Ook hierin schuilt een gevaar en ook daarvan ben ik me bewust: het oordeel van iemand met een grote kennis van de materie en met ervaring op dit gebied kan niet gelijk gesteld worden aan bevindingen uit tests met de daadwerkelijke doelgroep. In dit geval acht ik de resultaten echter bruikbaar, aangezien de mensen uit mijn klankbord zelf ook lesgeven binnen de opleiding en dus in staat zijn om goede inschattingen te maken met betrekking tot de functionaliteit en bruikbaarheid.

De tool spitst zich toe op een vrij specifiek vakgebied. De resultaten van dit onderzoek en eventueel vervolgonderzoek zijn dus niet zondermeer geldig en bruikbaar voor beoordeling van dergelijke tools in bredere zin. Maar er is wel een grote gemene deler: een tool om een ruimtelijk ontwerp vanuit het programma van eisen te maken en het ontwerpproces opdelen in duidelijke, vastgelegde stappen die elk hun eigen controle en feedback hebben is ook bij andere ontwerpprocessen bruikbaar.

De ontwikkeling van het prototype heeft zich afgespeeld op de grens tussen flexibiliteit, diversiteit, didactische overwegingen, functionele vereisten, diversiteit en praktische haalbaarheid. Vooral de didactische vereisten vormen in dit geval een beperking die evenwel het ontwikkelen van een dergelijke tool interessant maken. Voor toepassing buiten het onderwijs zal het programma van eisen al snel te uitgebreid en complex worden en de behoefte aan flexibiliteit – het ondersteunen van meerdere werkwijzen – te groot. Voor toepassing in het onderwijs is beperking daarin juist eerder wenselijk. Het gaat dan in eerste instantie om een leermiddel waarbij de didactische component zodanig moet zijn dat voor de student het leer- c.q. ontwerpproces inzichtelijk wordt.

Dat proces verbetert bij duidelijke afbakening en begrenzing van de mogelijkheden. Voor didactische toepassingen is dat dus juist gewenst, maar voor toepassing in “de praktijk” is dat vaak niet wenselijk want te beperkt. Het is in dat geval beter als de ontwerper zelf tools verzamelt die passen bij zijn werkwijze, of zijn eigen tools maakt.

Het ontwikkelen van dit prototype heeft diverse waardevolle oplossingen opgeleverd die gestandaardiseerd kunnen worden en gebruikt kunnen worden als bredere tools voor Maya. Voorbeelden hiervan zijn de volume dimensions en snapfuncties (beschreven in Hoofdstuk 8).

12. Aanbevelingen

Dit onderzoek heeft zoals ieder onderzoek ook een aantal bevindingen opgeleverd die voor de toekomst van belang zijn. Voor een deel zitten die in de begrenzing van dit project, voor een deel komen zij voort uit ervaringen tijdens de ontwikkelfase.

Waar het de begrenzing betreft:

1. Het gaat hier om een prototype van een tool met beperkte functionaliteit. Dat betekent dat ik ervoor pleit ruimte te creëren om het onderzoek verder af te ronden, te testen en uiteindelijk te implementeren zoals de vakgroep voor ogen stond toen ik aan dit onderzoek begon.

Met betrekking tot de ervaringen tijdens het ontwikkelproces:

2. Het is wenselijk als achtergrondinformatie aan de tool gekoppeld kan worden. Hierbij denk ik aan informatie die via het web opgevraagd kan worden en die de student inzicht geeft over de specifieke technische aspecten. Denk hierbij bijvoorbeeld aan informatie over de productie van glazen constructie-elementen en materiaaleigenschappen.
3. Als de tests van een eerste versie uitwijzen dat er aanleiding is voor verdere ontwikkeling, dan raad ik aan om het ontwerp ‘onder de motorkap’ te herzien. Dat begint met het maken van een conceptueel model. Het ligt dan voor de hand om over te stappen naar objectgeoriënteerde programmeertechnieken (zie hoofdstuk 9). In Maya kan dat door Python te gebruiken in plaats van MEL. Dit maakt het ook eenvoudiger om de groeiende complexiteit bij uitbreiding beheersbaar te houden. Een objectgeoriënteerde structuur maakt het makkelijker om de functionaliteit van de tool verder uit te breiden. Het ontwikkelde prototype kan hierbij uitstekend als uitgangspunt dienen.
4. Er zou binnen de opleiding onderzoek gedaan moeten worden naar de mogelijkheden om informatiestromen (in bredere zin) in het ontwerpproces te beheersen. Informatie (data) speelt een steeds belangrijkere rol in de gehele samenleving en de informatiedichtheid wordt alleen maar groter. Ook in een bouwkundig ontwerp wordt informatie steeds belangrijker. Denk hierbij aan economische haalbaarheid, logistieke aspecten en technische prestaties (constructief, bouwfysisch, duurzaamheid, daglichttoetreding). Het is belangrijk dat toekomstige ingenieurs en architecten in staat zijn om de controle en regie te voeren over het toepassen van ICT binnen het ontwerpproces om dit efficiënt in te richten en de kwaliteit van het eindproduct te verbeteren. Daarvoor moeten zij een goed zicht hebben op de informatiestromen en gefundeerd kunnen bepalen welke informatie zij nodig hebben voor een efficiënt ontwerpproces en welke methodes en middelen zij hierbij gebruiken.

In bovenstaand kader past ook de volgende en laatste aanbeveling.

5. Tijdens dit onderzoek ben ik gesterkt in mijn opvatting dat het waardevol is om binnen het domein van de Bouwkunde en zeker ook binnen het onderwijs te beschikken over de vaardigheden en inzichten op (theoretisch) informaticagebied en het programmeren en scripten. Ik verwacht dat maken van (‘eigen’) ICT tools steeds belangrijker wordt. Ik wil daarmee niet zeggen dat iedere bouwkundig ingenieur in opleiding een ervaren programmeur moet zijn. Maar ik denk wel dat het noodzakelijk is dat ze enige kennis hebben van op dit gebied, zodat ze kunnen samenwerken met programmeurs voor het maken van tools.

Programmeurs van software voor de bouwkunde kunnen een verschillende achtergrond hebben. Ze

kunnen een bouwkundige achtergrond hebben en op hoog niveau hebben leren programmeren. Maar het kunnen ook mensen zijn met een informaticaopleiding. Die moeten inhoudelijk dan aangestuurd worden door bouwkundigen. Vooral in het laatste geval is het van groot belang dat de bouwkunde-expert op redelijk niveau kan meepraten en meebeslissen over de aard en de kwaliteit van de tools. In de toekomst zal de ICT alleen maar een belangrijker plaats innemen in het ontwerp- en uitvoeringsproces. Ik pleit er daarom voor in de opleiding structurele aandacht te besteden aan deze kant van de beroepsuitoefening.

Referenties

- Mulders, S., 2008. *Digital Tools for Design*, TU Delft Master in Architecture Thesis
- Fowler, M., 2002. *Patterns of Enterprise Application Architecture* 1st ed., Addison Wesley.
- Ashby, M., 2005. *Materials selection in mechanical design* 3rd ed., Amsterdam ;;Boston: Butterworth-Heinemann.
- Ashby, M.F. & Johnson, K., 2009. *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design* 2nd ed., A Butterworth-Heinemann Title.
- Beck, K., 2004. *Extreme programming explained : embrace change* 2nd ed., Boston MA: Addison-Wesley.
- Bos, F., Veer, F., Hobbelman, G. et al., 2005. Designing and Planning the World's Biggest Experimental Glass Structure. *Glass Processing Days Proceed*, pp.401–5.
- Bos, F., Veer, F., Romein, T. et al., 2005. The evaluation of the All Transparent Pavilion project. *Proceedings 9th Glass Processing Days, Tampere, Finland*.
- Bos, F.P. et al., 2005. The joints of the All Transparent Pavilion. In *Proceedings GPD*.
- Bos, F. & Technische Universiteit Delft., 2008. *Challenging glass : Conference on Architectural and Structural Applications of Glass, Faculty of Architecture, Delft University of Technology, May 2008*, Amsterdam the Netherlands: Delft University Press.
- Evans, E., 2003. *Domain-driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software* 1st ed., Addison Wesley.
- Meijers, A., 2005. *Criteria voor academische bachelor en master curricula* 2nd ed., Delft; Eindhoven; Enschede: Technische Universiteit Delft; Technische Universiteit Eindhoven; Universiteit Twente.
- van Noordenne, G., Veer, F. & Romein, T., 2005. The Future of the All Transparent Pavilion Concept. *Proceedings 9th Glass Processing Days, Tampere, Finland*.
- Silver, M., 2004. *Exploring Interface Design (Exploring)*, Delmar Cengage Learning.

Bijlagen

Bijlage A: Broncode van het prototype

De brondcode van het prototype is als bijlage bijgevoegd. De code is uiteraard ook in digitale vorm beschikbaar.